



TUGAS AKHIR - RG 141536

PEMODELAN PERGERAKAN TUMPAHAN MINYAK PADA TITIK RAWAN KECELAKAAN PELAYARAN (STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA)

MUHAMMAD MAULANA ARDI
NRP 3512 100 063

Dosen Pembimbing
Khomsin, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - RG 091536

PEMODELAN PERGERAKAN TUMPAHAN MINYAK PADA TITIK RAWAN KECELAKAAN PELAYARAN (STUDI KASUS: ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA)

MUHAMMAD MAULANA ARDI
NRP 3512 100 063

Dosen Pembimbing
Khomsin, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 091536

MODELING OF OIL SPILL SPREADING ON SHIPPING ACCIDENT PRONE AREA (CASE STUDY: WEST SURABAYA SHIPPING CHANNEL)

MUHAMMAD MAULANA ARDI
NRP 3512 100 063

Supervisor
Khomsin, S.T., M.T.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PEMODELAN PERGERAKAN TUMPAHAN
MINYAK PADA TITIK RAWAN KECELAKAAN
PELAYARAN (STUDI KASUS: ALUR PELAYARAN
BARAT SURABAYA)**

Nama : Muhammad Maulana Ardi
NRP : 3512 100 063
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Pembimbing : Khomsin, S.T., M.T.

Abstrak

Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki maksimum pergerakan kapal sebesar 27 ribu setiap tahunnya. Namun, pada tahun 2013 tercatat ada sebesar 43 ribu pergerakan kapal. Kondisi over kapasitas tersebut menyebabkan Alur Pelayaran Barat Surabaya rawan akan terjadinya kecelakaan pelayaran dan bencana tumpahan minyak yang disebabkan oleh tumpahnya bahan bakar kapal yang mengalami kecelakaan maupun dari muatan kapal tersebut.

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan analisa titik rawan kecelakaan pelayaran dan pembuatan model tumpahan minyak di titik rawan tersebut. Penentuan titik rawan kecelakaan dilakukan dengan menganalisa kedalaman alur pelayaran berdasarkan spesifikasi kapal yang dimiliki PT. PERTAMINA dan fitur laut yang ada pada alur pelayaran.

Titik rawan tersebut digunakan sebagai titik sumber tumpahan minyak, untuk input dari pemodelan dimasukkan kondisi oseanografis pada area model. Hasil dari pemodelan tersebut berupa arah dan pergerakan tumpahan minyak pada dua musim angin yang berbeda ditahun 2013, 2014 dan 2015.

Kecepatan arus rata-rata tertinggi hasil pemodelan pada musim angin barat terjadi pada tahun 2013 sebesar 0,148 m/s pada tanggal 11 Januari jam 20:00. Kecepatan arus

rata-rata tertinggi hasil pemodelan pada musim angin timur terjadi pada tahun 2014 sebesar 0,136 m/s pada tanggal 12 Juli jam 08:00. Arah arus hasil model pada musim angin barat sebagian besar mengarah ke utara Pulau Madura mengikuti arah arus laut jawa yang mengarah ke timur sedangkan Arah arus hasil model pada musim angin timur sebagian besar mengarah ke utara Kabupaten Gresik mengikuti arah arus laut jawa yang mengarah ke barat.

Luas tumpahan minyak dengan luas tumpahan yang paling luas setelah 24 jam paska terjadinya tumpahan pada musim angin barat terjadi pada tahun 2013 dengan luas sebesar 2.054.548 m² dengan konsentrasi tumpahan maksimal sebesar 78,521 kg/m³. dan pada musim angin timur terjadi pada tahun 2014 dengan luas sebesar 1.320.039 m² dengan konsentrasi tumpahan maksimal sebesar 32,906 kg/m³.

Kata Kunci: Pemodelan, Arus, Tumpahan Minyak.

**MODELING OF OIL SPILL SPREADING ON
SHIPPING ACCIDENT PRONE AREA
(CASE STUDY: WEST SURABAYA SHIPPING
CHANNEL)**

Name : Muhammad Maulana Ardi
NRP : 3512 100 063
Departement : Teknik Geomatika FTSP – ITS
Supervisor : Khomsin, S.T., M.T.

Abstract

The West Surabaya Shipping Channel has an annual capacity of 27 thousand ships. Despite this in 2013 as many as 43 thousand container ships have passed the route. The over capacity use of the shipping route poses an increased danger of maritime accidents and the danger of oil spills that may occur as a result of these accidents. .

In this thesis we perform an analysis of the potential accident locations and offer a model of oil spill accidents that would occur in these locations. The determination of the potential locations of accidents was based on the analysis of the water depth and the specifications of the cargo ships owned by the Indonesian state owned Oil and Natural Gas Mining Company, PT. Pertamina.

The thus determined locations are used as the initial locations of the modelled oil spills. Based on the oceanographic model of the shipping route we have modelled the trajectory of the oil spills. The calculations are offered for two different climatic conditions that occurred in 2013, 2014 and 2015.

The highest average modeled current speed in western monsoon was 0.148 m/sec that occurred on January 11th 2013 at 8PM. The highest average modeled current speed used in the modeling of the oil spill trajectory in the climatic

conditions of the eastern monsoon was 0.136 m/sec that occurred on July 12th 2014 at 8 AM. The modeling showed that the dominant trajectory of the oil spills in western monsoon was directed towards the island of Madura, following the eastward currents of the shipping route. While in the eastern monsoon the dominant trajectory was directed towards Gresik regency, following the westward currents of the shipping route.

The largest extent of the modeled oil spill in the western monsoon 24 hours after the incident occurred in 2013 with a total area of 2.054.548 m² and a concentration of 78,521 kg/m³. While in the eastern monsoon the largest extent was recorded for 2014 with a total area of 1.320.039 m² and a maximum concentration of 32,906 kg/m³.

Keywords: Modeling, Current Flow, Oil Spill.

HALAMAN PENGESAHAN

PEMODELAN PERGERAKAN TUMPAHAN MINYAK PADA TITIK RAWAN KECELAKAAN PELAYARAN (STUDI KASUS: ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Jurusan S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD MAULANA ARDI
NRP. 3512 100 063

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



SURABAYA, JANUARI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak Pada Titik Rawan Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya)**” ini dengan lancar.

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak-pihak yang memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, hingga penelitian tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dalam laporan tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis atas doa, perhatian, dukungan, pengorbanan dan semua bentuk kasih sayangnya selama ini kepada penulis,
2. Keluarga penulis baik kakak, adik, saudara sepupu, om dan tante dan keluarga penulis lainnya atas doa, perhatian, dukungan dan semua bentuk kasih sayangnya selama ini kepada penulis,
3. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS,
4. Bapak Khomsin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang senantiasa memberikan bimbingan kepada penulis,
5. Bapak Ir. Yuwono, M.T. dan Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen penguji Tugas Akhir atas kritik dan sarannya terhadap penelitian Tugas Akhir penulis,
6. Bapak Dr. Ir. M. Taufik, M.T., selaku dosen wali penulis atas segala bimbingannya selama ini kepada penulis,

7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geomatika ITS atas bimbingan dan didikannya selama ini kepada penulis,
8. Bapak dan Ibu karyawan dan staf Jurusan Teknik Geomatika ITS yang telah membantu kelancaran proses akademis,
9. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS angkatan 2012, terimakasih atas segala dukungan dan bantuannya selama ini,
10. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS,
11. Teman-teman Jurusan Teknik Kelautan ITS, terimakasih atas segala bantuannya dalam pengolahan data tugas akhir penulis,
12. Instansi PT. PELINDO 3, BMKG, BIG dan ECMWF, yang membantu dalam pengumpulan data tugas akhir penulis,
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk pembelajaran kedepannya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Januari 2017

Muhammad Maulana Ardi

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	V
ABSTRACT.....	VII
HALAMAN PENGESAHAN.....	IX
KATA PENGANTAR	XI
DAFTAR ISI.....	XIII
DAFTAR GAMBAR	XVII
DAFTAR TABEL.....	XXIII
DAFTAR LAMPIRAN	XXV
DAFTAR ISTILAH	XXVII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pasang Surut	5
2.2 Arus Laut	7
2.3 Batimetri	9
2.4 Minyak Bumi di Indonesia	13
2.4.1 Tumpahan Minyak.....	14
2.4.2 Penyebab Tumpahan Minyak di Laut	16
2.4.3 Dampak Pencemaran Tumpahan	
Minyak.....	17
2.4.4 Penanggulangan Bencana Tumpahan	
Minyak.....	18
2.5 Perangkat Lunak <i>Mike 21</i>	21

2.6	Karakteristik Kecelakaan Transportasi Laut.....	24
2.7	Alur Pelayaran dan Titik Model	25
2.8	Regresi Linier dan Korelasi Pearson	29
2.9	<i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	31
2.10	Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Lokasi Penelitian	35
3.2	Data dan Peralatan	35
3.2.1	Data	35
3.2.2	Peralatan	36
3.3	Metodologi Penelitian.....	37
3.3.1	Tahap Persiapan.....	38
3.3.2	Tahap Pengumpulan Data.....	38
3.3.3	Tahap Pengolahan Data.....	38
3.3.4	Tahap Analisis.....	42
3.3.5	Tahap Pelaporan	42
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....		43
4.1	Hasil Digitasi Peta Alur Pelayaran	43
4.2	Profil dan Fitur Alur Pelayaran	45
4.2.1	Analisis Kedalaman Alur Pelayaran..	45
4.2.2	Analisis Spesifikasi Kapal Terhadap Kedalaman Alur Pelayaran.....	56
4.2.3	Analisis Fitur Laut Terhadap Alur Pelayaran	57
4.3	Pemilihan Lokasi Titik Model Tumpahan	58
4.4	<i>Mesh</i>	59
4.5	Pasang Surut	60
4.5.1	Pemodelan Pasang Surut (Musim Angin Barat)	64
4.5.2	Pemodelan Pasang Surut (Musim Angin Timur).....	65

4.6	Pemodelan Hidrodinamika	67
4.7	Hasil Pemodelan Hidrodinamika	68
4.7.1	Model Hidrodinamika Musim Angin Barat	68
4.7.2	Model Hidrodinamika Musim Angin Timur	73
4.8	Perbandingan Arus Area Model	79
4.9	Pemodelan Tumpahan Minyak	81
4.10	Hasil Pemodelan Tumpahan Minyak.....	82
4.10.1	Model Tumpahan Minyak Musim Angin Barat	82
4.10.2	Model Tumpahan Minyak Musim Angin Timur	91
4.11	Regresi Linier Tumpahan Minyak.....	100
4.12	Perencanaan Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak.....	105
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		107
5.1	Kesimpulan.....	107
5.2	Saran	108
DAFTAR.PUSTAKA		109
LAMPIRAN.....		115
BIODATA PENULIS		166

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipe Pasang Surut (Wyrтки, 1961).....	6
Gambar 2.2 Gaya <i>Coriolis</i> (National Ocean Service, 2016)	8
Gambar 2.3 Pola Arus Permukaan pada Bulan Februari di Perairan Indonesia (Wyrтки, 1961).....	9
Gambar 2.4 Pola Arus Permukaan pada Bulan Agustus di Perairan Indonesia (Wyrтки, 1961).....	9
Gambar 2.5 Contoh Visualisasi 3D Data Batimetri (Office of Ocean Exploration and Research NOAA, 2001) dan Peta Batimetri (Office of Coast Survey NOAA, 1986).....	10
Gambar 2.6 Pengukuran Kedalaman dengan LIDAR (Poerbondono & Djunasjah, 2005)	11
Gambar 2.7 <i>Single Beam Echosounder</i> dan <i>Multi Beam Echosounder</i> (Office of Coast Survey NOAA, -)	12
Gambar 2.8 Pengukuran Kedalaman dengan Metode Akustik (Poerbondono & Djunasjah, 2005)	13
Gambar 2.9 Proses Pelapukan Minyak di Laut (The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), 2014-2015)	15
Gambar 2.10 Tumpahan Minyak di Laut (Office of Response and Restoration NOAA, 2016)	17
Gambar 2.11 Penggunaan Booms untuk Membatasi Tumpahan Minyak (The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), -)	20

Gambar 2.12 <i>In-Situ Burning</i> pada Tumpahan Minyak di Laut (Office of Response and Restoration NOAA, 2016)	21
Gambar 2. 13 Visualisasi 3D dari Bentuk <i>Mesh</i>	22
Gambar 2.14 Kedalaman Alur Pelayaran Ideal (Triatmodjo, 2010)	27
Gambar 2.15 Lebar Jalur Pelayaran Ideal Satu Jalur (Atas) dan Dua Jalur (Bawah) (Triatmodjo, 2010)	28
Gambar 2.16 Dimensi Kapal (Triatmodjo, 2010)	28
Gambar 2. 17 (a) Hubungan Linier Positif dan (b) Hubungan Linier Negatif	30
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Sumber: Dishidros, 2015)	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data	39
Gambar 4. 1 Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya (Sumber: Dishidros, 2015) ...	43
Gambar 4.2 Hasil Digitasi Daratan, Batas Perairan <i>MLLW</i> , Titik Kedalaman dan Kontur Laut	44
Gambar 4.3 Hasil Digitasi Alur Pelayaran, Titik Percabangan Alur, Bangkai Kapal Karam dan Obstruksi	44
Gambar 4.4 Penampang Melintang <i>Section 1</i> (STA 0+000)	45
Gambar 4.5 <i>Mesh</i> Perairan APBS	59
Gambar 4.6 Syarat Batas (<i>Boundary Condition</i>) Daratan dan Lautan.....	60
Gambar 4. 7 Pasang Surut Pemodelan Januari 2013...	64
Gambar 4.8 Pasang Surut Pemodelan Januari 2014....	64
Gambar 4.9 Pasang Surut Pemodelan Januari 2016....	65
Gambar 4.10 Pasang Surut Pemodelan Juli 2013	65
Gambar 4.11 Pasang Surut Pemodelan Juli 2014	66
Gambar 4.12 Pasang Surut Pemodelan Juli 2015	67

Gambar 4.13	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2013 Saat Pasang Jam 15:00 WIB	68
Gambar 4.14	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2013 Saat Surut Jam 23:00 WIB	69
Gambar 4.15	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2014 Saat Pasang Jam 13:00 WIB	70
Gambar 4.16	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2014 Saat Surut Jam 22:00 WIB	71
Gambar 4.17	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2015 Saat Pasang Jam 19:00 WIB	72
Gambar 4.18	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2015 Saat Surut Jam 01:00 WIB	73
Gambar 4.19	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2013 Saat Pasang Jam 04:00 WIB	74
Gambar 4.20	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2013 Saat Surut Jam 12:00 WIB	75
Gambar 4.21	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2014 Saat Pasang Jam 02:00 WIB	76
Gambar 4.22	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2014 Saat Surut Jam 10:00 WIB	77
Gambar 4.23	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2015 Saat Pasang Jam 23:00 WIB	78
Gambar 4.24	Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2015 Saat Surut Jam 09:00 WIB	79
Gambar 4. 25	Grafik Perbandingan Kecepatan Arus Musim Angin Barat.....	80
Gambar 4. 26	Grafik Perbandingan Kecepatan Arus Musim Angin Timur	81
Gambar 4.27	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013.....	83
Gambar 4.28	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013.....	84
Gambar 4.29	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013.....	85

Gambar 4.30	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014.....	86
Gambar 4.31	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014.....	87
Gambar 4.32	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014.....	88
Gambar 4.33	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015.....	89
Gambar 4.34	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015.....	90
Gambar 4.35	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015.....	91
Gambar 4.36	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2013	92
Gambar 4.37	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2013	93
Gambar 4.38	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2013	94
Gambar 4.39	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014	95
Gambar 4.40	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014	96
Gambar 4.41	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014	97
Gambar 4.42	Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015	98
Gambar 4.43	Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015	99
Gambar 4.44	Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015	100
Gambar 4. 45	Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2013.....	101
Gambar 4. 46	Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2013.....	102

Gambar 4. 47 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2014	103
Gambar 4. 48 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2014.....	103
Gambar 4. 49 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2015	104
Gambar 4. 50 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2015.....	104

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Luas Tumpahan Berdasarkan Waktu Pasca Tumpahan	33
Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal Tanker PT. PERTAMINA	56
Tabel 4.2 Kedalaman Ideal Kapal PT PERTAMINA ..	57
Tabel 4.3 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2013	61
Tabel 4. 4 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2013	61
Tabel 4.5 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2014	62
Tabel 4. 6 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2014	62
Tabel 4.7 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2015	63
Tabel 4. 8 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2015	63
Tabel 4.9 <i>Input</i> Parameter Tumpahan Minyak	81
Tabel 4. 10 Nilai Luas Tumpahan Hasil Pemodelan.	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. *Cross Section* Alur Pelayaran Barat
Surabaya
- Lampiran 2. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Januari 2013
- Lampiran 3. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Juli 2013
- Lampiran 4. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Januari 2014
- Lampiran 5. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Juli 2014
- Lampiran 6. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Januari 2015
- Lampiran 7. Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam
Paska Tumpahan Juli 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISTILAH

Deadweight Tonnage, DWT (Bobot Mati) yaitu berat total muatan di mana kapal dapat mengangkut dalam keadaan pelayaran optimal (*draft* maksimum). Jadi DWT adalah selisih antara *Displacement Tonnage Loaded* dan *Displacement Tonnage Light*.

Draft (*d*), atau sarat adalah bagian kapal yang terendam air pada keadaan muatan maksimum atau jarak antara garis air pada beban yang direncanakan (*designed load water line*) dengan titik terendah kapal.

Lebar kapal (*beam* atau *breadth*) adalah jarak maksimum antara dua sisi kapal.

Panjang keseluruhan (*length overall*, *LoA*), adalah panjang kapal dihitung dari ujung depan (haluan) sampai ujung belakang (buritan).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki wilayah perairan seluas 3.257.483 km² dari luas wilayah total sebesar 5.180.053 km². Untuk menunjang kegiatan distribusi logistik yang merata, terutama pada Sektor Minyak dan Gas (migas), Indonesia sangat bergantung kepada sarana transportasi lautnya, mengingat dengan moda transportasi laut dapat mengangkut barang logistik dalam jumlah besar dengan biaya yang relatif terjangkau dibandingkan dengan moda transportasi udara. Dari beberapa pelabuhan penting yang ada di Indonesia, salah satunya adalah Pelabuhan Tanjung Perak. Pelabuhan Tanjung Perak yang berada di Ibu Kota Jawa Timur (Surabaya) merupakan pelabuhan yang menghubungkan kegiatan pelayaran Indonesia bagian timur dan bagian barat dimana salah satu pintu masuk utamanya adalah melalui Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS).

Kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki panjang alur 43,6 km dengan ideal satu jalur pelayaran selebar 100 meter dan kedalaman -9 meter terhadap *Low Water Spring* (LWS). Pada Alur Pelayaran Barat Surabaya terdapat banyak bangkai kapal karam dan *obstruction* (rintangan) yang tersebar di sepanjang alur. Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki kapasitas maksimum pergerakan kapal setiap tahunnya adalah sebanyak 27 ribu pergerakan kapal. Namun, pada kenyataannya pada tahun 2013 terhitung ada sebesar 43 ribu pergerakan kapal (PT. Pelindo Marine Service, 2014). Dengan kondisi *over* kapasitas tersebut maka akan berdampak pada rawannya kecelakaan pelayaran pada Alur Pelayaran Barat Surabaya. Hal ini menyebabkan Alur Pelayaran Barat Surabaya juga akan beresiko terjadinya bencana tumpahan minyak (*Oil Spill*) yang berasal dari bahan bakar kapal yang mengalami kecelakaan maupun dari muatan kapal yang tumpah.

Dampak dari tumpahan minyak terhadap lingkungan sangatlah membahayakan ekosistem laut dan daerah pesisir yang terjangkau oleh penyebaran tumpahan minyak, minyak yang mengapung pada permukaan laut dapat mengganggu proses masuknya sinar matahari ke dalam laut yang dibutuhkan oleh biota laut seperti fitoplankton untuk proses berfotosintesis, sementara minyak yang tenggelam dan tersedimentasi di dasar laut dapat membunuh hewan-hewan dan terumbu karang yang rentan akan zat-zat kimia yang terkandung dalam tumpahan minyak tersebut, pada tumpahan minyak yang menjangkau kawasan pesisir akan mencemari air permukaan maupun air tanah dan dapat mengakibatkan menurunnya kestabilan dan degradasi fungsi tanah akibat terendapnya zat-zat kimia beracun.

Dengan melihat dampak negatif tersebut maka diperlukan langkah antisipasi penanggulangan bencana tumpahan minyak. Beberapa kegiatan yang dilakukan adalah membuat simulasi pergerakan tumpahan minyak dari pemodelan hidrodinamika laut dan pengkajian karakteristik oseanografisnya sehingga diketahui arah, kecepatan pergerakan tumpahan minyak dan luasan area yang terdampak.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- a) Bagaimanakah arah dan kecepatan arus hasil pemodelan pada musim angin barat dan musim angin timur?
- b) Seberapa besar luasan sebaran tumpahan minyak hasil pemodelan pada musim angin barat dan musim angin timur?
- c) Bagaimana konsentrasi dari volume minyak tumpahan dari hasil pemodelan?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- a) Wilayah studi adalah Alur Pelayaran Barat Surabaya.
- b) Penyebaran tumpahan minyak dianggap hanya terjadi di permukaan laut.
- c) Karakteristik oseanografi yang digunakan sebagai parameter pemodelan adalah topografi dasar laut, pasang surut air laut, arus laut, arah dan kecepatan angin dan suhu permukaan laut.
- d) Pemodelan dilakukan pada waktu musim angin barat dan musim angin timur tahun 2013, 2014 dan 2015.
- e) Tumpahan minyak diasumsikan bersumber dari muatan kapal tangker pengangkut minyak yang mengalami kecelakaan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah:

- a) Menganalisis arah dan kecepatan arus hasil pemodelan pada musim angin barat dan musim angin timur Alur Pelayaran Barat Surabaya.
- b) Menganalisis luas dan sebaran tumpahan minyak hasil pemodelan pada musim angin barat dan musim angin timur Alur Pelayaran Barat Surabaya.
- c) Menganalisis konsentrasi dari volume minyak tumpahan setelah dilakukan pemodelan pada musim angin barat dan musim angin timur.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah memberikan informasi hasil pemodelan tumpahan minyak sebagai dasar dalam manajemen perencanaan penanggulangan bencana tumpahan minyak pada Alur Pelayaran Barat Surabaya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasang Surut

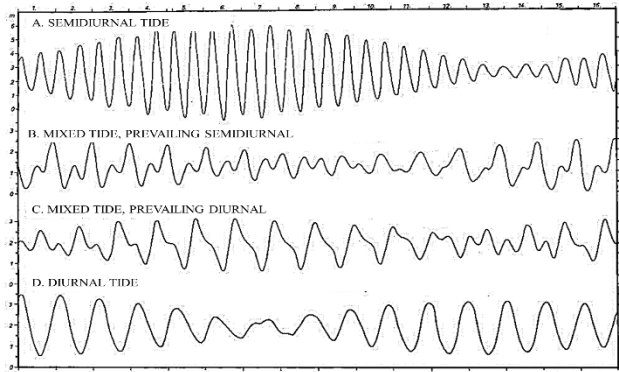
Pasang surut merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan gaya tarik bulan, matahari dan benda-benda langit lainnya sejalan dengan perubahan posisinya yang relatif terhadap rotasi bumi. Bulan merupakan penyebab utama terjadinya pasang surut, pengaruh matahari terhadap pasang surut di bumi dengan jaraknya yang sangat jauh hanya sebesar 46 persen dari pengaruh bulan terhadap pasang surut di bumi (Bowditch, 2002). Untuk faktor-faktor non astronomis yang dapat mempengaruhi kondisi pasang surut adalah topografi dasar laut, morfologi pantai dan kondisi meteorologi. Untuk periode dari pasang surut sendiri untuk sebagian besar wilayah perairan di bumi memiliki periode pasang surut sebesar 12,42 jam dan untuk beberapa wilayah sebesar 24,84 jam (Parker, 2007).

Untuk tipe pasang surut sendiri secara garis besar dibagi menjadi 4, yaitu (Wyrski, 1961):

- a. Harian ganda (*semidiurnal*); pasang surut yang dalam satu harinya memiliki dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan ketinggian masing-masing pasang dan surut yang tidak jauh berbeda.
- b. Campuran condong ke harian ganda (*mixed, prevailing semidiurnal*); pasang surut yang dalam satu harinya lebih sering memiliki dua kali air pasang dan dua kali air surut dari pada satu kali air pasang dan surut dengan ketinggian masing-masing pasang dan surut yang jauh berbeda.
- c. Campuran condong ke harian tunggal (*mixed, prevailing diurnal*); pasang surut yang dalam satu harinya memiliki satu kali air pasang dan satu kali air surut dan pada beberapa waktu terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut

dengan ketinggian masing-masing pasang dan surut yang jauh berbeda.

- d. Harian tunggal (*diurnal*); pasang surut yang dalam satu harinya memiliki satu kali air pasang dan satu kali air surut.



Gambar 2.1 Tipe Pasang Surut (Wyrтки, 1961)

Berdasarkan posisi astronomis bumi, bulan dan matahari, terdapat suatu kondisi dimana *range* dari pasang surut (selisih nilai tinggi pasang dan nilai surut) memiliki nilai yang jauh di atas maupun dibawah keadaan normal. Pada saat bulan purnama atau bulan baru, dimana bumi, bulan dan matahari berada di suatu garis lurus, maka gaya tarik matahari dan bulan terhadap bumi berkerja pada arah yang sama. Kondisi ini mengakibatkan *range* pasang surut akan lebih besar dari pada saat pasang surut normal. Pasang surut ini disebut dengan pasang surut bulan purnama (*spring tide*).

Pada saat dimana bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus, maka gaya tarik matahari dan bulan terhadap bumi bekerja pada arah yang saling tegak lurus. Kondisi ini mengakibatkan *range* pasang surut akan lebih kecil dari pada saat pasang surut normal. Pasang surut ini disebut dengan pasang surut perbani (*neap tide*).

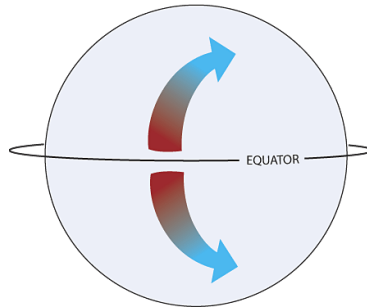
Gerakan vertikal naik turunnya pasang surut air laut, diikuti juga dengan gerakan air laut secara horizontal yang biasanya disebut dengan arus pasang surut, dimana arus pasang surut ini mendominasi pada daerah pesisir dan perairan dangkal.

2.2 Arus Laut

Arus laut merupakan pergerakan massa air laut secara vertikal dan horizontal. Beberapa memiliki umur sirkulasi yang pendek dan lainnya memiliki umur sirkulasi yang sangat panjang untuk bersirkulasi mengelilingi lautan di bumi (Bowditch, 2002). Arus laut ini memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan laut karena dalam proses sirkulasinya arus laut membawa organisme laut, nutrisi, oksigen dan ikut mendistribusikan suhu laut. Dengan mengetahui dan memahami arus laut terutama arus lokal, dapat membantu kita menentukan sumber polusi dan seberapa jauh polusi di laut dapat berdampak pada kawasan pesisir salah satu contohnya adalah polusi laut akibat tumpahan minyak.

Secara garis besar arus laut dibedakan menjadi dua, pertama adalah arus perairan dalam atau disebut juga dengan sirkulasi thermohalin, arus yang mengalir di kedalaman laut ini disebabkan oleh perbedaan densitas antara massa air laut karena variasi suhu dan salinitas. Gerakan massa air ini kadang juga mempengaruhi sirkulasi arus permukaan.

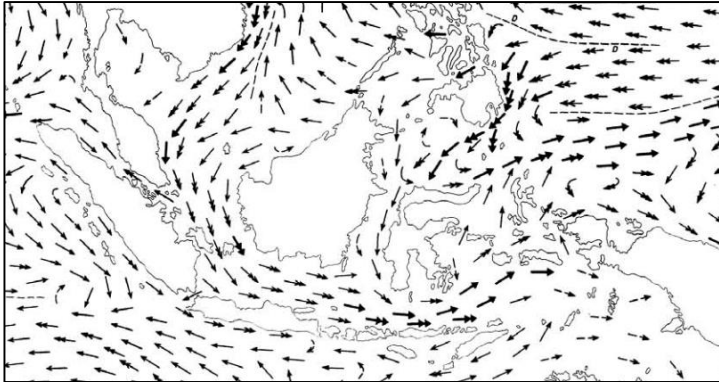
Kedua adalah arus permukaan atau disebut juga dengan *wind-drive currents*, penyebab utama dari arus permukaan ini adalah sistem angin global yang kompleks yang bertiup melintasi permukaan laut, pola pergerakan arus permukaan ini ditentukan oleh arah angin, gaya *coriolis* dari rotasi bumi dan bentuk dan posisi daratan yang berinteraksi dengan arus permukaan. Gaya *coriolis* merupakan bias akibat rotasi bumi, gaya *coriolis* mengakibatkan sirkulasi udara di bumi tidak hanya bersirkulasi diantara kutub dan daerah ekuator melainkan membelok kekanan belahan bumi utara dan membelok ke arah kiri belahan bumi selatan (National Ocean Service, 2016).



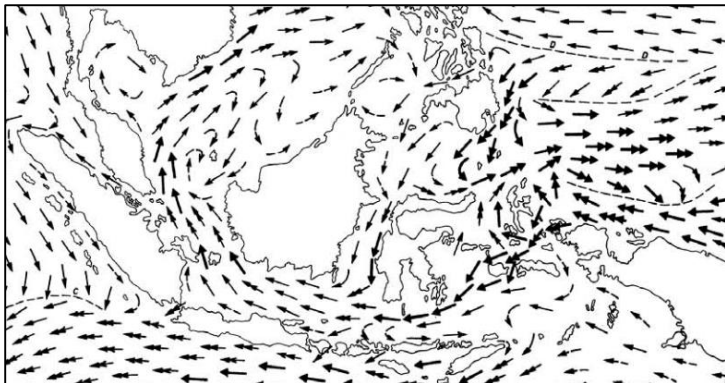
Gambar 2.2 Gaya *Coriolis* (National Ocean Service, 2016)

Di Indonesia angin muson yang berubah secara musiman memiliki pengaruh yang dramatis terhadap arah dan kecepatan arus permukaan, pada musim angin barat (Muson Barat) yang terjadi pada bulan Desember sampai dengan bulan Februari dominan terjadi aliran air (arus) dari arah utara melalui Laut Cina bagian atas, Laut Jawa dan Laut Flores, sedangkan pada musim angin timur (Muson Timur) terjadi pada bulan Juni sampai dengan bulan Agustus dominan terjadi aliran air (arus) dari arah sebaliknya, yaitu aliran air (arus) dari selatan ke utara (Hutabarat & Evans, 1984).

Menurut Tjasyono (2004), untuk daerah lokal di Indonesia selain efek dari angin muson terdapat angin-angin lokal yang berpengaruh pada pergerakan arus laut seperti angin darat, angin laut, angin lembah dan beberapa angin lainnya yang disebabkan oleh adanya perbedaan suhu di daerah lokal tersebut.



Gambar 2.3 Pola Arus Permukaan pada Bulan Februari di Perairan Indonesia (Wyrcki, 1961)

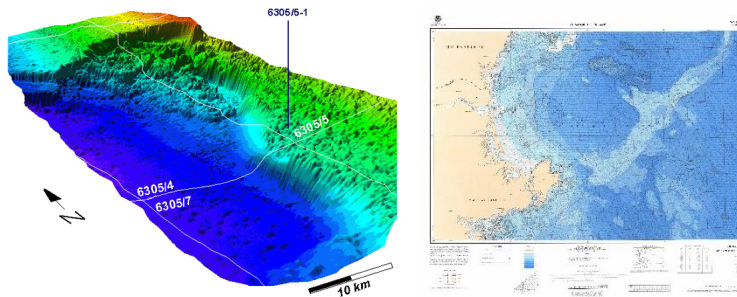


Gambar 2.4 Pola Arus Permukaan pada Bulan Agustus di Perairan Indonesia (Wyrcki, 1961)

2.3 Batimetri

Untuk memperoleh gambaran (model) bentuk permukaan topografi dasar suatu perairan yang valid diperlukan suatu survey batimetri (pemeruman) untuk memperoleh data akan kedalaman dasar perairan laut tersebut dimulai dari perencanaan survey,

pengukuran, pengolahan data dan penggambaran data secara visual baik berbentuk 3 dimensi maupun 2 dimensi berbentuk peta. Untuk bentuk visualisasi berupa peta batimetri, kedalaman perairan ditunjukkan oleh titik-titik kedalaman, kontur kedalaman, maupun perbedaan warna kedalaman.

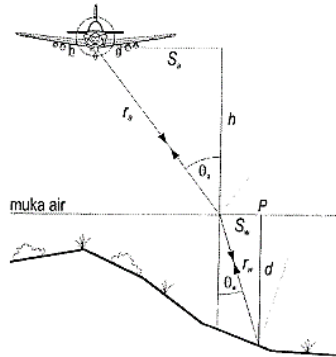


Gambar 2.5 Contoh Visualisasi 3D Data Batimetri (Office of Ocean Exploration and Research NOAA, 2001) dan Peta Batimetri (Office of Coast Survey NOAA, 1986)

Dalam survey batimetri pengukuran kedalaman dilakukan pada titik-titik yang ditentukan yang mewakili titik-titik kedalaman disekitarnya sesuai dengan lajur survey rencana. Pengukuran kedalaman dapat dilakukan dengan tiga metode, pertama adalah menggunakan metode mekanik. Metode ini merupakan metode paling awal yang dilakukan manusia untuk melakukan pengukuran kedalaman, pengukuran kedalaman ini dilakukan secara langsung menggunakan tongkat ukur maupun rantai ukur dengan bantuan wahana apung. Untuk pengukuran kedalaman dengan metode ini sudah ditinggalkan, dikarenakan metode ini tidak efektif terutama untuk pengukuran perairan yang luas dan dalam.

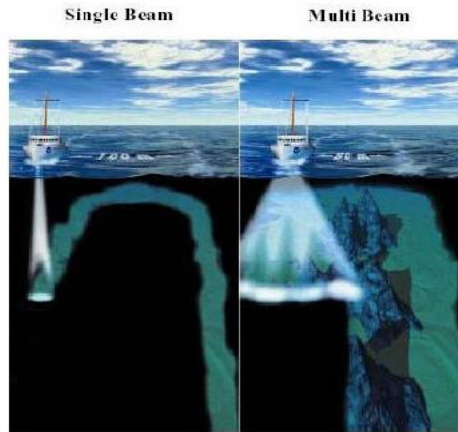
Kedua, adalah metode optik. Pengukuran kedalaman dengan metode ini menggunakan transmisi sinar laser oleh alat yang dibawa pesawat terbang dan menggunakan prinsip-prinsip optiknya untuk mengukur kedalaman perairan. Teknologi ini dikenal dengan sebutan *laser airborne bathymetry*, setelah

dikembangkan metode ini dikenal dengan beberapa nama *Light Detecting and Ranging* (LIDAR).



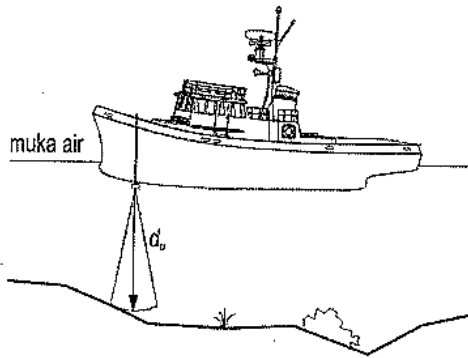
Gambar 2.6 Pengukuran Kedalaman dengan LIDAR (Poerbondono & Djunasjah, 2005)

Metode ketiga adalah metode akustik. Metode ini merupakan metode yang umum digunakan saat ini. Gelombang akustik dengan frekuensi 5 kHz atau 100 kHz akan mempertahankan kehilangan intensitasnya hingga kurang dari 10% dari intensitasnya pada kedalaman 10 m, sedangkan gelombang akustik dengan frekuensi 500 kHz akan kehilangan intensitasnya pada kedalaman kurang dari 100m. Untuk pengukuran kedalaman dengan metode ini, digunakan alat yang bernama *echosounder*, baik *single beam echosounder* yang menggunakan pancaran tunggal, maupun *multibeam echosounder* yang menggunakan pancaran dengan sapuan yang lebar.



Gambar 2.7 *Single Beam Echosounder* dan *Multi Beam Echosounder*
(Office of Coast Survey NOAA, -)

Bagian *transduser* dari *echosounder* berfungsi mengubah energi listrik menjadi gelombang suara dan sebaliknya. Gelombang tersebut kemudian merambat kedasar laut melalui medium air dengan kecepatan rambat yang relatif diketahui, setelah mencapai dasar laut, gelombang suara tersebut memantul kembali dan ditangkap oleh transduser. Dari gelombang yang dipancarkan dan diterima tersebut untuk mengetahui dasar perairan relatif dihitung selang waktu sejak gelombang dipancarkan dan diterima kembali (Poerbondono & Djunasjah, 2005).



Gambar 2.8 Pengukuran Kedalaman dengan Metode Akustik
(Poerbondono & Djunasjah, 2005)

2.4 Minyak Bumi di Indonesia

Minyak bumi atau *petroleum* merupakan campuran kompleks dari berbagai senyawa hidrokarbon yang terjadi secara alamiah di dalam bumi dan terpendam dalam kerak bumi. Proses pembentukan minyak dan gas (migas) bumi dihasilkan dari pembusukan organisme tumbuhan dan hewan yang telah punah berjuta-juta tahun yang lalu dan tertimbun oleh lapisan-lapisan bumi.

Minyak dan gas bumi di Indonesia merupakan sumber daya yang memiliki peranan sangat penting bagi pendapatan negara maupun keberlangsungan hidup masyarakatnya. Lebih dari 50 % energi yang digunakan di Indonesia berasal dari minyak dan gas bumi (Tryono, 2016) dan setiap tahunnya menurut BPH Migas, Indonesia mengkonsumsi BBM sebesar 50 juta kiloliter baik untuk BBM subsidi maupun non subsidi (Risdiyanta, 2015).

Sektor industri migas di Indonesia memiliki fungsi yang dikelompokkan dalam 4 kategori, yakni (SA, 2006):

A. Sektor Explorasi dan Produksi

Sektor kegiatan ini bertugas menjaga kesinambungan tersedianya cadangan Sumber Daya Migas, melalui usaha-

usaha eksplorasi untuk mencari cadangan Sumber Daya Migas baru maupun mengambil Sumber Daya Migas dari blok-blok aktif yang ada sebanyak dan seefektif mungkin.

B. Sektor Penyediaan Energi Domestik

Sektor kegiatan ini bertugas memurnikan dan melakukan pengolahan minyak mentah menjadi bahan bakar minyak (BBM) termasuk gas alam dan kemudian menyalurkannya keseluruh pelosok Nusantara. Sektor ini harus dibangun dan dioperasikan berbagai sarana produksi, transportasi dan distribusi BBM untuk menjangkau penyediaan sarana yang memadai diseluruh kawasan Nusantara.

C. Sektor Perdagangan Migas Internasional

Sektor kegiatan ini bertugas memperdagangkan migas maupun produk-produk lainnya di pasaran Internasional, beberapa komoditi utama yang diekspor keluar antara lain adalah minyak mentah, Gas Alam Cair atau *Liquefied Natural Gas (LNG)* dan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*.

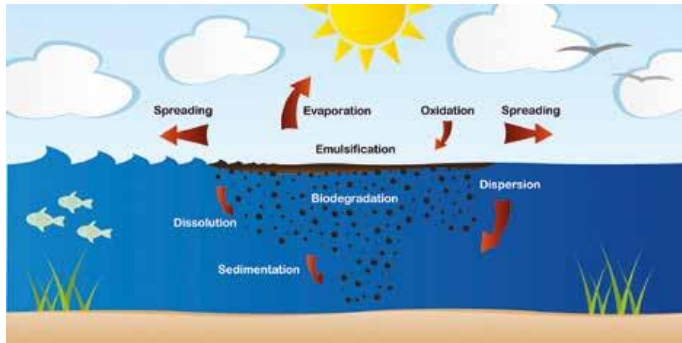
D. Sektor Produksi Non-BBM ataupun Petrokimia.

Dalam sektor kegiatan ini ditugaskan untuk memproduksi produk-produk bukan BBM untuk kebutuhan Nasional, termasuk penyediaan bahan baku untuk Industri seperti Petrokimia wax sebagai penunjang industri packaging dan kosmetik dan asphalt sebagai penunjang pembangunan jalan.

2.4.1 Tumpahan Minyak

Tumpahan minyak yang ada di lautan umumnya akan menyebar dan bergerak di permukaan laut, disebabkan oleh bantuan angin dan arus disekitarnya, bersamaan dengan itu pula minyak tersebut akan mengalami perubahan atau pelapukan (*Weathering*) baik secara fisik maupun kimia. Beberapa proses pelapukan minyak yang tumpah di laut diantaranya adalah penyebaran (*spreading*), penguapan (*evaporation*), oksidasi (*oxidation*), pelarutan (*dissolution*),

emulsifikasi (*emulsification*), sedimentasi (*sedimentation*), dispersi (*dispersion*) dan biodegradasi (*biodegradation*).



Gambar 2.9 Proses Pelapukan Minyak di Laut (The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), 2014-2015)

Kecepatan dari proses-proses tersebut tidak terlepas dengan sifat dan karakteristik jenis minyak yang tumpah, sehingga minyak ada yang dapat dengan mudah menghilang atau terurai dan ada yang sangat susah. Dalam *Handbook The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) 2014-2015*, karakteristik minyak utama yang mempengaruhi proses tumpahan minyak di laut adalah *Specific Gravity* (perbandingan densitas fluida terhadap densitas fluida standar ‘biasanya air laut’ pada suhu tertentu), karakteristik destilasi, viskositas (ketahanan terhadap aliran) dan titik tuang atau *Pour Point* (suhu terendah dimana minyak bisa mengalir). Selain karakteristik dari minyak tersebut, faktor lain yang mempengaruhi proses tumpahan minyak di laut adalah kondisi oseanografis dan meteorologi di daerah sekitar tumpahan minyak tersebut.

2.4.2 Penyebab Tumpahan Minyak di Laut

Dalam hubungannya dengan industri migas, pencemaran lingkungan dapat terjadi dari kegiatan hulu migas dimana dilakukan tahap eksplorasi dan eksploitasi sumber minyak dan gas bumi, hingga kegiatan pada hilir migas yaitu pada proses pengolahan di kilang minyak (*refinery*), pengangkutan atau distribusi minyak dengan kapal maupun pipa migas dan proses penyimpanan.

Menurut The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) dalam *Oil Tanker Spill Statistic 2015*, Untuk penyebab tumpahan minyak yang berkaitan dengan operasi kapal tangker sebagai sarana pengangkutan dan distribusi migas untuk penyebab dengan dampak skala tumpahan relatif kecil disebabkan oleh bongkar muat kapal (*Loading / Discharging*), pengisian bahan bakar minyak kapal (*Bunkering*), pengisian dan pengosongan tangki penyeimbang kapal (*Ballasting / de-ballasting*) dan pembersihan tangki muatan kapal (*Tank cleaning*).

Sedangkan untuk penyebab utama tumpahan minyak dengan dampak skala tumpahan yang relatif besar disebabkan oleh kecelakaan kapal baik tabrakan atau benturan (*Allisions/Collisions*), kandas (*Groundings*), kerusakan lambung kapal (*Hull Failures*), kerusakan peralatan (*Equipment Failures*), kebakaran dan ledakan.



Gambar 2.10 Tumpahan Minyak di Laut (Office of Response and Restoration NOAA, 2016)

2.4.3 Dampak Pencemaran Tumpahan Minyak

Dampak pencemaran lingkungan akibat tumpahan minyak sangat membahayakan dan dapat mengganggu keberlangsungan ekosistem laut dan pesisir. Dampak buruk dari tumpahan minyak yang terjadi bergantung kepada banyak faktor termasuk kuantitas dan karakteristik minyak yang tumpah dan bagaimana interaksi minyak tersebut dengan lingkungan sekitar. Tumpahan minyak dapat mempengaruhi lingkungan dengan cara yang beragam.

Minyak yang memiliki tingkat kekentalan atau viskositas yang tinggi dapat mempengaruhi respirasi dan proses fotosintesis tumbuhan baik yang di laut seperti rumput laut dan lamun maupun dipesisir seperti mangrove. Bukan hanya itu, untuk hewan seperti ikan, burung camar dan hewan-hewan lainnya akan terganggu bahkan bisa menimbulkan kematian, apabila organ pernapasan dan pencernaannya dimasuki oleh minyak pekat. Untuk kandungan beracun tumpahan minyak dapat berdampak pada kematian organisme baik skala kecil maupun skala yang besar, bagi organisme yang masih tetap hidup kemungkinan juga akan memiliki kandungan racun dan

apabila dikonsumsi manusia, misalnya saja ikan, akan dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia tersebut. Untuk tumpahan minyak yang menjangkau kawasan pesisir akan mencemari air permukaan maupun air tanah dan dapat mengakibatkan menurunnya kestabilan dan degradasi fungsi tanah akibat terendapnya minyak beserta zat-zat kimia yang beracun.

Selain berdampak pada lingkungan, tumpahan minyak juga berdampak terhadap kondisi ekonomi dan sosial sekitarnya. Kerugian ekonomi akan sangat dirasakan oleh industri maupun individu yang bergantung pada kekayaan pesisir dan laut baik dari sektor pariwisata karena pengunjungnya berkurang, sektor perikanan dan budidaya laut karena jumlah tangkapan berkurang dan gagal panen budidaya kerang, maupun sektor industri contohnya pelabuhan dan galangan kapal. Untuk kondisi sosial adalah terganggunya prosesi agama atau budaya suatu golongan tertentu akibat tumpahan minyak di daerah pesisir.

2.4.4 Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak

Dalam mengatasi bencana, perencanaan yang tepat dan matang sangat penting demi efektifitas penanggulangan bencana tersebut sehingga dapat meminimalisir dampak negatif yang dapat terjadi. Mengembangkan strategi dan rencana operasional juga penanaman pemahaman sumber daya manusia jauh-jauh hari sebelum adanya bencana tumpahan minyak akan menghasilkan respon yang cepat tanggap menghadapi bencana secara langsung.

Dalam merencanakan dan menetapkan langkah langkah penanggulangan bencana, secara umum perencanaan penanggulangan bencana meliputi hal-hal berikut (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2008):

1. Pengenalan dan pengkajian bahaya
2. Pengenalan kerentanan
3. Analisis kemungkinan dampak bencana

4. Pilihan tindakan penanggulangan bencana
5. Mekanisme penanggulangan dampak bencana
6. Alokasi tugas dan peran instansi

Untuk penanggulangan bencana tumpahan minyak yang terjadi di laut, dalam pelaksanaan teknis di lapangan menggunakan beberapa metode untuk menghentikan ataupun menghilangkan tumpahan minyak yang ada dilaut sehingga tidak menyebar dan menjangkau daerah pesisir, metode tersebut adalah sebagai berikut:

A. Booms dan Skimmer

Penggunaan booms dan skimmer sering dianggap sebagai solusi ideal untuk tumpahan minyak yang terjadi di laut. Booms merupakan alat yang dibuat untuk membatasi tumpahan minyak yang ada di laut dan dibuat dengan bahan yang kuat yang tahan akan suhu tinggi, sedangkan skimmer merupakan alat penghisap yang biasanya digunakan bersamaan dengan booms. Skimmer digunakan untuk menghisap dan memisahkan tumpahan minyak dipermukaan laut dengan kandungan air, lalu ditampung dalam tangki penampungan. Untuk penggunaan yang efektif harus mempertimbangkan kondisi cuaca dan pergerakan air laut, air laut harus cukup tenang untuk memungkinkan alat berkerja dengan baik dan maksimal.



Gambar 2.11 Penggunaan Booms untuk Membatasi Tumpahan Minyak (The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF), -)

B. *In-Situ Burning*

In-Situ burning merupakan metode pembakaran minyak yang terapung di laut. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, tumpahan minyak harus terkonsentrasi di daerah yang akan dilakukan pembakaran. Metode ini efektif dilakukan untuk tumpahan minyak yang relatif besar. Untuk melakukan metode ini diperlukan pertimbangan yang besar, untuk menghindari dampak yang lebih buruk, apakah api yang dihasilkan dari pembakaran dapat menjalar ke daerah yang berpotensi bahaya, apakah asap yang ditimbulkan dapat mempengaruhi kondisi lingkungan dan organisme makhluk hidup disekitarnya. Pertimbangan matang akan penggunaan metode ini sangat penting dilakukan agar bencana tumpahan minyak yang terjadi tidak berdampak lebih buruk.



Gambar 2.12 *In-Situ Burning* pada Tumpahan Minyak di Laut (Office of Response and Restoration NOAA, 2016)

C. Dispersan

Tujuan utama dari metode ini adalah memecah tumpahan minyak yang pekat menjadi tetesan minyak yang banyak dimana tetesan minyak ini dapat diencerkan oleh pergerakan air laut dan terdegradasi secara alami dengan bantuan mikroorganisme. Metode ini bila digunakan dengan tepat akan mampu secara efektif mengatasi tumpahan minyak dengan skala yang besar. Dispersan ini berupa bahan kimia yang dalam penggunaannya disesuaikan dengan karakteristik minyak tumpahan dan dibuat ramah lingkungan, sehingga bisa bekerja efektif dan tidak menimbulkan dampak negatif lain terhadap lingkungan sekitar.

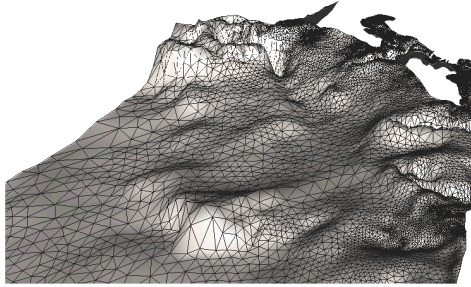
2.5 Perangkat Lunak Mike 21

Mike 21 merupakan perangkat lunak pemodelan 2D dan 3D dinamika perairan pesisir maupun perairan lepas, baik pemodelan dari segi fisik kimia maupun proses biologis di daerah tersebut. Perangkat lunak *Mike 21* merupakan bagian dari produk perangkat lunak yang dikembangkan oleh DHI Group.

Model menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah barang tiruan yang lebih kecil dengan bentuk (rupa) persis seperti yang ditiru. Jadi dapat dikatakan pemodelan adalah suatu

usaha untuk membuat tiruan (replika) dari suatu sistem yang nyata dengan memanfaatkan suatu media untuk mempresentasikannya.

Dalam tugas akhir ini perangkat lunak *Mike 21* digunakan untuk pemodelan hidrodinamika 2D dan prediksi pergerakan tumpahan minyak di laut dengan perangkat lunak *Mike 21* modul *Flow Model FM (Flexible mesh, Hydrodynamic and Oil Spill)*. Dalam penggunaan perangkat lunak *Mike 21 Flow Model FM (Flexible mesh, Hydrodynamic and Oil Spill)*. Pemodelan 2D dibentuk berdasarkan pendekatan *flexible mesh* dimana struktur atau objek dibagi menjadi elemen-elemen kecil berbentuk segitiga maupun *quadrilateral* (bentuk geometri dengan empat sisi) yang tidak terstruktur yang memiliki batasan berupa garis yang terbentuk dari titik-titik (*nodes*) tiap elemen (MIKE by DHI, 2014).



Gambar 2. 13 Visualisasi 3D dari Bentuk *Mesh*

Model matematika yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial \rho_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \\ \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + \\ hu_s S \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial\rho_a}{\partial y} - \\ & \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}\right) + \\ & \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_S S \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$h\bar{u} = \int_{-d}^n u dz, h\bar{v} = \int_{-d}^n v dz \quad (2.4)$$

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial\bar{u}}{\partial x}, T_{xy} = A\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial\bar{v}}{\partial x}\right), T_{yy} = 2A\frac{\partial\bar{v}}{\partial y} \quad (2.5)$$

Dimana:

t	: Waktu (s)
x, y dan z	: Koordinat kartesian (m)
η	: Ketinggian muka air (m)
h	: Kedalaman laut saat itu (m)
$h = \eta + d$: Total kedalaman laut (m)
u, v dan w	: Komponen kecepatan pada arah x, y dan z (m/s)
$f=2\Omega\sin\phi$: Parameter coriolis (s^{-1}), dimana (Ω : rata-rata sudut revousi bumi dan ϕ : lintang geografis)
g	: Percepatan gravitasi (m/s^2)
ρ	: Densitas air (kg/m^3)
$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: Komponen radiasi tensor tegangan
v_t	: Turbulensi vertikal atau viskositas eddy (m^2/s)
p_a	: Tekanan atmosfer ($kg/m/s^2$)
ρ_0	: Referensi densitas air (kg/m^3)
S	: Besarnya debit fluida berdasarkan titik sumber (m^3/s)
(u_s, v_s)	: Velositas dimana air mampu terbebas di lingkungan sekitar (m/s)

T_{ij}	: Tekanan lateral termasuk friksi kekentalan dan perbedaan adveksi (m^2/s)
A	: Viskositas Eddy horizontal
\bar{i} dan \bar{j}	: Kostanta dengan garis atas mengindikasikan nilai rata-rata

2.6 Karakteristik Kecelakaan Transportasi Laut

Kecelakaan kapal di laut dapat terjadi dimana saja, kapan saja dan dapat menimpa siapa saja. Kecelakaan laut sebagaimana diketahui dapat menimbulkan kerugian yang tidak sedikit baik kerugian materi maupun non materi dilihat dari angkutan yang dibawanya.

Berdasarkan Undang undang Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2008 tentang Pelayaran Pasal 245 menyatakan bahwa: Kecelakaan kapal merupakan kejadian yang dialami oleh kapal yang dapat mengancam keselamatan kapal dan/atau jiwa manusia berupa kapal tenggelam, kapal terbakar, kapal tubrukan dan kapal kandas. Untuk faktor penyebab kecelakaan dibagi menjadi 3 yaitu (Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), 2009):

1. Faktor manusia, contohnya seperti kurangnya pemahaman para awak kapal akan rambu-rambu yang ada pada rute perjalanan, kelalaian petugas pelabuhan dalam melakukan pengawasan terhadap kapal-kapal yang berlayar ataupun kelalaian awak kapal dalam melakukan *maintenance* terhadap mesin-mesin yang ada pada kapal.
2. Faktor teknis, seperti teknis pembuatan kapal yang tidak sesuai dengan standarisasi yang telah ditetapkan yang menyebabkan kapal tidak layak untuk digunakan; *maintenance* yang dilakukan oleh para awak kapal yang masih tidak terjadwal, sehingga menyebabkan kapal tidak dalam kondisi yang prima saat digunakan; faktor teknis ketika membawa barang-barang yang berbahaya, karena tidak adanya standar teknis pengangkutan bahan berbahaya yang jelas, bisa mengakibatkan meledak dan terbakarnya muatan kapal beserta kapalnya.

3. Faktor alam, hal ini dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca, faktor alam yang menyebabkan kecelakaan biasanya berupa gelombang tinggi, badai yang besar, arus yang kuat, atau kabut yang menghalangi pandangan kapal.

Untuk alur pelayaran yang baik kondisi arus dan gelombangnya harus cukup tenang dan dalam perencanaannya ditentukan kapal yang paling besar yang dapat melewati alur pelayaran dengan aman berdasarkan kedalamannya dan mempertimbangkan karakteristik meteorologi dan oseanografisnya. Untuk lebar dan kedalaman alur pelayaran disesuaikan dengan maksimum spesifikasi kapal yang akan menggunakan alur, alur pelayaran satu arah atau dua arah dan kemudahan olah gerak kapal.

2.7 Alur Pelayaran dan Titik Model

Titik pemodelan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini, ditentukan berdasarkan karakteristik alur pelayaran yang disesuaikan dengan karakteristik beberapa kapal tanker yang dimiliki dan dioperasikan oleh PT. PERTAMINA, karakteristik alur pelayaran yang dimaksud adalah yang memiliki nilai kedalaman terendah, lebar alur yang sempit dan disekitarnya memiliki bangkai kapal karam, karang dan halangan-halangan lain yang dapat mengganggu keselamatan pelayaran.

Kondisi alur pelayaran yang ideal harus cukup dalam untuk memungkinkan kegiatan pelayaran pada saat muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh. Untuk menghitung kedalaman alur ideal digunakan rumus (Triatmodjo, 2010):

$$H = d + G + R + P + S + K \quad (2.6)$$

Dimana:

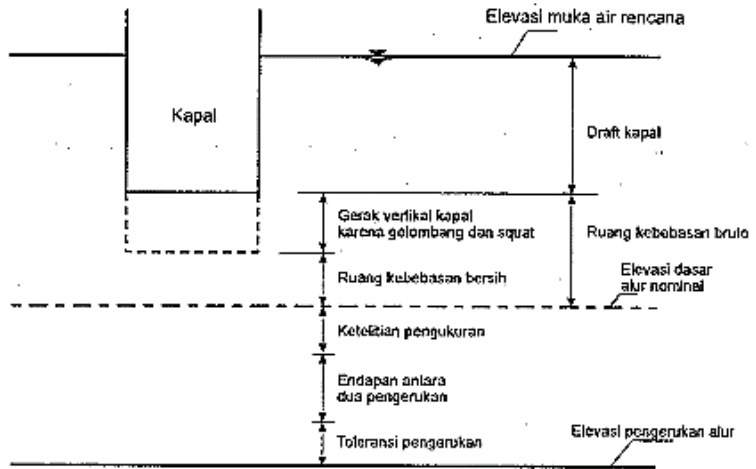
H : Kedalaman air total (m)

d : Draft kapal (m)

- G : Gerak vertikal kapal karena gelombang dan squat (m) diperoleh dengan rumus $B/2 \times \sin a$; dimana B: lebar kapal (m), a: sudut oleng kapal misalkan 5°
- R : Ruang kebebasan bersih; untuk dasar laut berpasir sebesar 0,5 meter dan untuk dasar laut karang sebesar 1,0 m
- P : Ketelitian pengukuran
- S : Pengendapan sedimen antara dua pengerukan
- K : Toleransi pengerukan

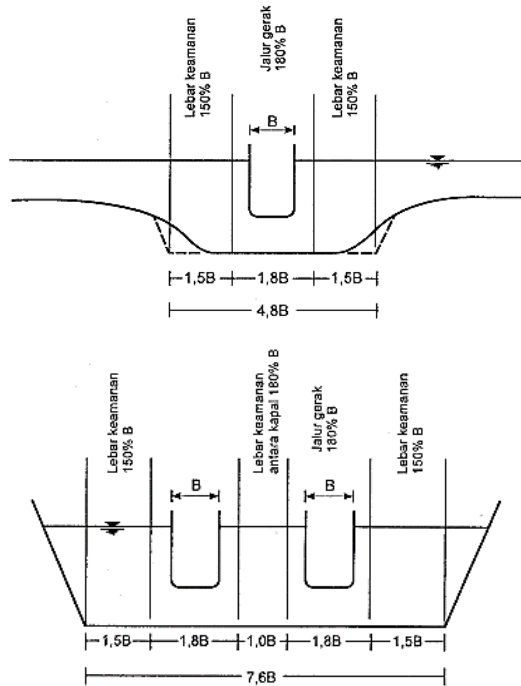
Untuk menyederhanakan hitungan tersebut, dalam buku Perencanaan Pelabuhan (Triatmodjo, 2010) nilai pendekatan untuk menentukan nilai ruang kedalaman bruto (jarak antara sisi terbawah kapal dengan elevasi dasar alur nominal) sebagai berikut:

1. Di laut terbuka yang mengalami gelombang besar dan kecepatan kapal masih besar, ruang kebebasan bruto: 20% dari draft kapal maksimum.
2. Di daerah tempat kapal melempar sauh dimana gelombang besar, ruang kebebasan bruto: 15% dari draft kapal.
3. Alur di luar kolam pelabuhan dimana gelombang besar, ruang kebebasan bruto: 15% dari draft kapal.
4. Alur yang tidak terbuka terhadap gelombang, ruang kebebasan bruto: 10% dari draft kapal.
5. Kolam pelabuhan yang tidak terlindungi dari gelombang, ruang kebebasan bruto: 10-15% dari draft kapal
6. Kolam pelabuhan yang terlindungi dari gelombang, ruang kebebasan brutonya: 7% dari draft kapal.



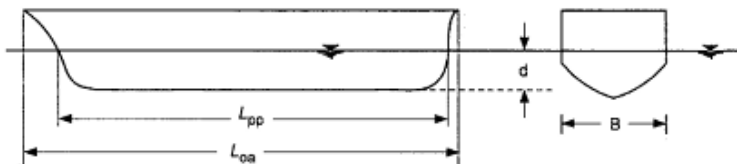
Gambar 2.14 Kedalaman Alur Pelayaran Ideal (Triatmodjo, 2010)

Untuk kondisi lebar alur pelayaran ideal, menurut Brunn (1981) dalam buku Perencanaan Pelabuhan (Triatmodjo, 2010) dapat mengacu pada gambar berikut:



Gambar 2.15 Lebar Jalur Pelayaran Ideal Satu Jalur (Atas) dan Dua Jalur (Bawah) (Triatmodjo, 2010)

Untuk dimensi kapal digambarkan sebagai panjang keseluruhan (LoA), lebar keseluruhan ($Breadth$) dan sarat ($Draft$) kapal.



Gambar 2.16 Dimensi Kapal (Triatmodjo, 2010)

2.8 Regresi Linier dan Korelasi Pearson

Analisa regresi merupakan studi mengenai ketergantungan variabel terikat (dependen) dengan satu atau lebih variabel bebas atau penjelas (independen), dengan tujuan untuk mengestimasi dan/atau memprediksi rata-rata variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas yang diketahui, dari hasil analisa yang diperoleh, tingginya tingkat korelasi tidak menunjukkan hubungan sebab akibat antara variabel, tingginya tingkat korelasi hanya menunjukkan hasil matematis dari variabel yang dianalisis. Berikut merupakan persamaan dalam regresi linier (Kustitunto & Badrudin, 1994):

$$Y = a + bX \quad (2.7)$$

Y = Variabel dependen (nilai yang diprediksikan)

X = Variabel independen

a = Koefisien regresi (nilai Y apabila X = 0)

b = Koefisien regresi

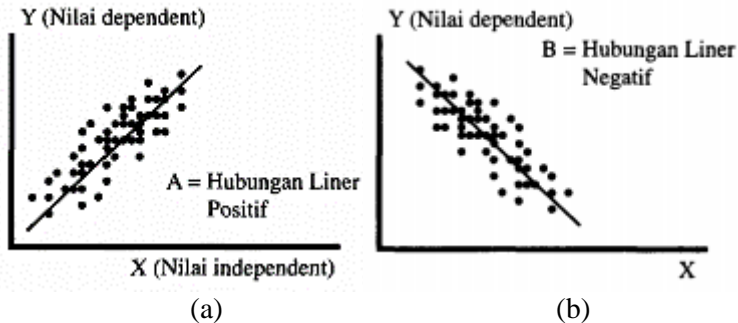
Untuk nilai dari koefisien regresi (a) dan koefesien regresi (b) dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.8)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \cdot \sum X}{n} \quad (2.9)$$

Dalam menggambarkan regresi linier, jika besaran nilai Y dan X searah (apabila nilai X bertambah besar maka diikuti nilai Y yang bertambah besar pula) maka hubungan antara dua variabel tersebut bernilai positif (+) seperti di tunjukkan oleh Gambar 2.17 (a). Sebaliknya, bila besaran nilai X bertambah besar sedangkan nilai dari variabel Y bertambah kecil, maka hubungan antara dua

variabel tersebut bernilai negatif, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.17 (b).



Gambar 2. 17 (a) Hubungan Linier Positif dan (b) Hubungan Linier Negatif

Koefisien Korelasi *Pearson* atau *Product Moment Coefficient of Correlation* adalah nilai yang menunjukkan keeratan hubungan linier dua variabel dengan skala data interval atau rasio. Rumus yang digunakan adalah (Kustituantanto & Badrudin, 1994):

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (2.10)$$

Untuk melihat seberapa besar hubungan antar variabel, terdapat patokan pada hasil penghitungan korelasi. Adapun patokan hasil penghitungan korelasi yakni (Sarwono, 2006):

- $< \pm 0,20$: hubungan dapat dianggap tidak ada
- $\pm 0,20 - 0,40$: hubungan ada tetapi rendah
- $> \pm 0,40 - 0,70$: hubungan cukup
- $> \pm 0,70 - 0,90$: hubungan tinggi
- $> \pm 0,90 - 1,00$: hubungan sangat tinggi

2.9 Root Mean Square Error (RMSE)

Metode *RMSE* merupakan metode evaluasi untuk mengetahui besarnya penyimpangan yang terjadi dari hasil pemodelan dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai *RMSE* maka nilai model atau prediksi tersebut memiliki nilai yang semakin akurat. Untuk rumus dari metode evaluasi *RMSE* menggunakan rumus sebagai berikut (Chai & Draxler, 2014):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(e_i)^2}{N}} \quad (2.11)$$

Dimana e_i merupakan *error* dari nilai model dan nilai observasi, dengan N adalah banyaknya sampel data.

2.10 Penelitian Terdahulu

Penelitian tugas akhir ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Alan Christ Rahadian pada tahun 2014 yang berjudul “Pemodelan Aliran Tumpahan Minyak dalam Manajemen Perencanaan Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak”. Pada penelitian ini, studi kasus berada di perairan Teluk Bintuni, Papua Barat. Untuk pemodelan hidrodinamika digunakan perangkat lunak *MIKE 21* modul *Hydrodynamic*, sedangkan untuk pemodelan aliran tumpahan minyak menggunakan bantuan perangkat lunak *MIKE 21* modul *Transport*, menggunakan data kecepatan dan arah angin, data pasang surut, data peta Batimetri dan data karakteristik tumpahan minyak. Waktu dan durasi pemodelan baik simulasi pemodelan hidrodinamika dan aliran tumpahan minyak dilakukan pada dua musim angin, yaitu musim angin barat dan musim angin timur pada bulan Januari tahun 2013 dengan durasi waktu selama 31 hari dan bulan Juli tahun 2013 dengan durasi waktu selama 31 hari.

Hasil pemodelan hidrodinamika selama 31 hari pada musim angin barat bulan Januari 2013 kecepatan arus rata-rata adalah 0,2829 m/s dengan kecepatan tertinggi mencapai 0,3902 m/s dan terendah mencapai 0,1371 m/s. Untuk pemodelan hidrodinamika

selama 31 hari pada musim angin timur bulan Juli 2013, kecepatan arus rata-rata sebesar 0,2831 m/s dengan kecepatan arus tertinggi mencapai 0,3952 m/s dan terendah sebesar 0,1435 m/s.

Untuk pemodelan bencana tumpahan minyak, parameter minyak yang digunakan adalah sumber tumpahan pada (300566,603; 9748073,086), spesifikasi komponen minimal 0,0008 g/m³ dan maksimal 0,09 g/m³, nilai dispersi 1 m²/s dan nilai *discharge* sebesar 50 m³/s konstan. Untuk parameter lain seperti viskositas eddy, densitas, gaya *coriolis* dan parameter lainnya yang tidak diketahui nilainya, menggunakan nilai *default* sistem. Skenario tumpahan berasal dari *platform* yang meledak dan terjadi kebocoran, pada tanggal 1 Januari 2013 pukul 00.00 WIT saat musim angin barat dan pada tanggal 1 Juli 2013 pukul 00.00 WIT saat musim angin timur.

Hasil pemodelan pada musim angin barat setelah 1 jam pasca tumpahan, tumpahan minyak cenderung menyebar ke arah selatan dari sumber tumpahan, dengan luas 122599947,320 m² dengan konsentrasi minyak sisa maksimal sebesar 0,0156 kg/m³.

Hasil pemodelan pada musim angin barat setelah 24 jam pasca tumpahan, tumpahan minyak cenderung menyebar ke arah barat, timur dan selatan dari sumber tumpahan, dengan luas 555545019,358 m² dengan konsentrasi minyak sisa maksimal sebesar 0,0509 kg/m³.

Hasil pemodelan pada musim angin barat setelah 1 jam pasca tumpahan, tumpahan minyak cenderung menyebar ke arah selatan dari sumber tumpahan, dengan luas 122549356,380 m² dengan konsentrasi minyak sisa maksimal sebesar 0,0156 kg/m³.

Hasil pemodelan pada musim angin barat setelah 24 jam pasca tumpahan, tumpahan minyak cenderung menyebar ke arah barat, timur dan selatan dari sumber tumpahan, dengan luas 446119378,029 m² dengan konsentrasi minyak sisa maksimal sebesar 0,0446 kg/m³.

Untuk luas tumpahan hasil pemodelan bulan Januari dan Juli berdasarkan waktu pasca tumpahan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Luas Tumpahan Berdasarkan Waktu Pasca Tumpahan

X Waktu (Jam)	Y Luasan (m²)	
	Januari 2013	Juli 2013
1	122599947,320	122549356,3800
3	232815544,519	207327858,7041
6	289533905,006	245392182,4815
9	311081588,098	294282703,0146
12	339236215,669	357209449,8854
15	378989889,614	371436010,2095
18	471798300,498	386654167,8720
21	510532623,900	397796152,1750
24	553545019,358	446119378,0290
27	579269218,102	459017650,3100
30	659090047,560	477881601,0960

Dari tabel tersebut selanjutnya dibuat regresi linier, sehingga diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,98 atau 98%, dimana menunjukkan 98% luas tumpahan dipengaruhi oleh variabel waktu untuk pemodelan pada bulan Januari 2013. Untuk bulan Juli 2013 diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,93 atau 93%, dimana menunjukkan 93% luas tumpahan dipengaruhi oleh variabel waktu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam tugas akhir ini adalah pada Alur Pelayaran Barat Surabaya, secara geografis penelitian terletak pada $06^{\circ}05'00''\text{LS} - 07^{\circ}15'00''\text{LS}$ dan $112^{\circ}35'00''\text{BT} - 112^{\circ}45'00''\text{BT}$.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Sumber: Dishidros, 2015)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya yang diperoleh dari PT. PELINDO III Surabaya.

- b. Peta LPI Kota Surabaya, Kabupaten Gresik dan Kabupaten Bangkalan yang diperoleh dari BIG.
- c. Data pasang surut Pelabuhan Tanjung Perak tahun 2013, 2014 dan 2015 yang diperoleh dari BIG.
- d. Data kecepatan dan arah angin Alur Pelayaran Barat Surabaya tahun 2013 ,2014 dan 2015 yang diperoleh dari BMKG.
- e. Data kecepatan, arah angin dan suhu permukaan air laut Alur Pelayaran Barat Surabaya tahun 2013 ,2014 dan 2015 yang diperoleh dari European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF).
- f. Data spesifikasi kapal tanker PT. PERTAMINA.
- g. Data karakteristik minyak solar.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - a. Laptop HP Pavilion 15.
 - *Processor: AMD A10 – 8700P 1.8/3.2 GHz Quadcore*
 - *Grafis: Radeon R6 + Radeon R7 M360*
 - b. PC Acer
 - *Processor: Intel G3220 3.0 GHz Dual Core*
 - *Grafis: Intel HD Graphics*
2. Perangkat Lunak (*Software*)
 - a. *Microsoft Excel*
Digunakan untuk mempermudah melakukan perhitungan, konversi dan organisasi data.
 - b. *Notepad*
Digunakan untuk konversi data dari hasil digitasi kedalam format .xyz yang dapat dibaca oleh perangkat lunak *MIKE 21*.
 - c. *Ocean Data Viewer (ODV)*
Digunakan untuk konversi data *RAW* yang diperoleh dari ECMWF kedalam format .txt.

d. *Software AutoCAD Land Desktop 2009*

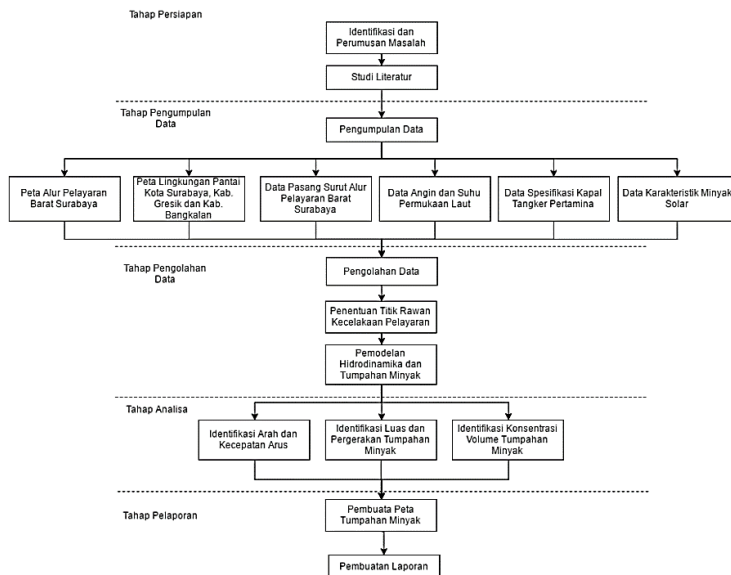
Digunakan untuk melakukan digitasi Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya, pembuatan *cross section*, analisis kedalaman dan fitur laut Alur Pelayaran Barat Surabaya dan pembuatan peta tumpahan minyak.

e. *Software MIKE 21*

Digunakan untuk proses pemodelan hidrodinamika dan pergerakan tumpahan minyak.

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

a. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahapan ini dijabarkan mengenai latar belakang masalah yang dijadikan topik penelitian tugas akhir, perumusan dan pembatasan masalah penelitian, juga tujuan dan manfaat dari penelitian tugas akhir ini yang berjudul Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak pada Titik Rawan Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya) .

b. Studi Literatur

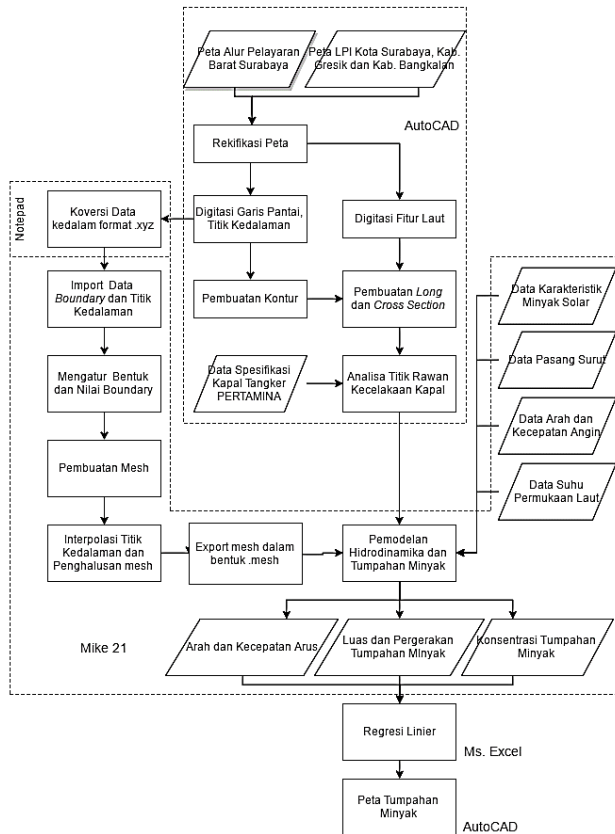
Pada tahapan ini dipelajari referensi-referensi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir yang dilakukan.

3.3.2 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini data-data yang dibutuhkan untuk kebutuhan penelitian tugas akhir ini yang dikumpulkan satu persatu dari berbagai sumber.

3.3.3 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini data-data yang telah dikumpulkan lalu diolah dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan diagram alir pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Setelah data-data yang dibutuhkan diperoleh, hal pertama yang dilakukan adalah rektifikasi Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya dan Peta LPI Kota Surabaya, Kabupaten Gresik dan Kabupaten Bangkalan dengan menggunakan perangkat lunak *Autocad Land*

Destop 2009, sehingga peta tersebut memiliki sistem koordinat WGS 1984 UTM 49S.

2. Selanjutnya dilakukan digitasi garis pantai dan titik kedalaman untuk masukan perangkat lunak *Mike 21*. Selain itu juga dilakukan digitasi jalur pelayaran dan fitur-fitur laut dan pelayaran yang nampak dipeta.
3. Titik-titik kedalaman yang telah didigitasi selanjutnya dilakukan pembuatan kontur dengan interval 1 meter dan hasil digitasi jalur pelayaran digunakan sebagai potongan memanjang, untuk potongan melintang dibuat tiap 500 meter dan pada setiap tikungan alur, dengan panjang melintang 100 meter (50 meter kekanan dan 50 meter ke kiri).
4. Hasil potongan melintang dan hasil digitasi fitur laut digunakan untuk analisis titik rawan kecelakaan pelayaran untuk kapal tangker milik PT. PERTAMINA yang nantinya titik tersebut akan digunakan sebagai titik pemodelan pergerakan tumpahan minyak.
5. Untuk hasil digitasi garis pantai dan titik kedalaman, selanjutnya di *export* kedalam bentuk txt. Untuk konversi data garis pantai dan titik kedalaman yang dibutuhkan untuk data masukan perangkat lunak *Mike 21* berformat .xyz digunakan perangkat lunak *Notepad*.
6. Dalam melakukan pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak digunakan perangkat lunak *Mike 21* modul *Flow Model FM (Flexibel Mesh) Hydrodynamic and Oil Spill*.
7. Sebagai langkah awal dalam melakukan pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak, data garis pantai dan titik kedalaman berformat .xyz selanjutnya di *Import* ke dalam perangkat lunak *Mike 21* modul *Mesh Generator*.
8. Setelah di *Import* dilakukan proses *editing* data dan dilakukan *Input* syarat batas (*boundary condition*) untuk membedakan daratan dan lautan. Setelah itu

- dilakukan pembuatan *mesh*, interpolasi titik kedalam, penghalusan *mesh* dan *Export mesh* ke dalam format *.mesh* untuk selanjutnya dilakukan pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak..
9. Sebelum dilakukan pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak dilakukan organisasi data-data yang dibutuhkan, analisis data pasang surut dan prediksi pasang surut.
 10. Untuk analisis dan prediksi data pasang surut dilakukan menggunakan perangkat lunak *Mike 21* modul *Toolbox*. Data pasang surut dari BIG digunakan untuk analisis komponen harmonik pasang surut yang selanjutnya komponen harmonik hasil analisis tersebut akan digunakan untuk memprediksikan nilai pasang surut dan sebagai input pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak.
 11. Untuk data arah, kecepatan angin dan suhu permukaan laut agar dapat di *Input* kedalam perangkat lunak *Mike 21* modul *Flow Model FM (Flexible mesh)*, *Hydrodynamic* dan *Oil Spill*, dilakukan organisasi data menggunakan perangkat lunak *Mike 21* modul *Grid Series* karena datanya yang berbentuk grid.
 12. Langkah selanjutnya dilakukan pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak menggunakan perangkat lunak *Mike 21* modul *Flow Model FM (Flexible mesh)*, *Hydrodynamic* dan *Oil Spill*. Waktu pemodelan berdasarkan dua musim yang berbeda, yaitu pada saat musim angin barat dan musim angin timur. Durasi pemodelan adalah selama 48 jam dengan *time step* tiap 1 jam.
 13. Untuk pemodelan hidrodinamika, parameter-parameter seperti *Flood and Dry*, Viskositas Eddy, *Bed Resistance*, Gaya *Coriolis*, *Ice Coverage* dan beberapa parameter lainnya digunakan nilai *default* dari perangkat lunak dikarenakan keterbatasan data. *Output*

yang dihasilkan pada pemodelan hidrodinamika berupa *area series*.

14. Untuk pemodelan tumpahan minyak, parameter masukan yang digunakan adalah titik sumber tumpahan, jumlah tumpahan dan karakteristik minyak tumpahan.
15. Setelah dilakukan proses *running* model akan diperoleh model pergerakan arus dan aliran tumpahan minyak dan tingkat konsentrasi tumpahan minyak.
16. Selanjutnya dilakukan analisis spasial untuk menentukan daerah yang terjangkau oleh tumpahan minyak dan regresi linier untuk menentukan hubungan waktu dan sebaran tumpahan minyak tersebut.
17. Langkah terakhir adalah pembuatan peta sebaran tumpahan minyak.

3.3.4 Tahap Analisis

Setelah selesai proses *running* pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak, maka akan diperoleh data *output* yang nantinya digunakan sebagai bahan analisis kondisi oseanografis dan kondisi tumpahan minyak, dari arah dan kecepatan arus, arah dan kecepatan pergerakan tumpahan minyak, luas sebaran dan konsentrasi tumpahan minyak.

3.3.5 Tahap Pelaporan

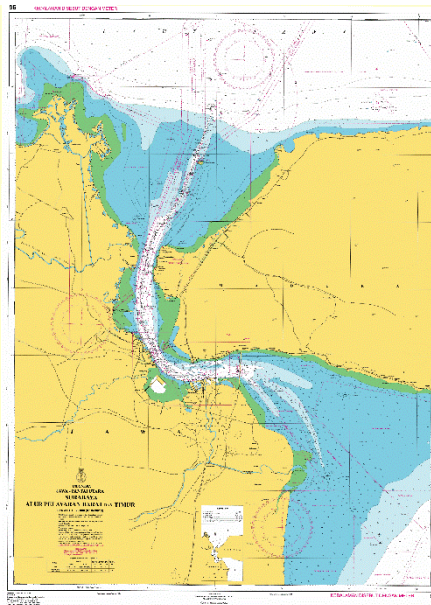
Tahapan ini merupakan tahap akhir dari penelitian tugas akhir, berupa penyusunan laporan dan pembuatan peta sebaran tumpahan minyak.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Digitasi Peta Alur Pelayaran

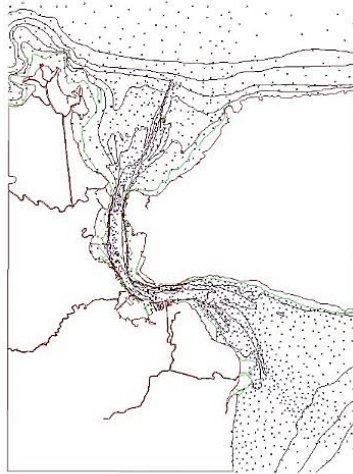
Peta yang digunakan untuk keperluan didigitasi adalah Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya yang dikeluarkan oleh DISHIDROS tahun 2013 yang didapat dari PT. PELINDO Surabaya.



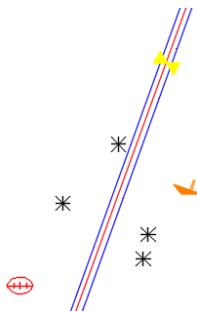
Gambar 4. 1 Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya
(Sumber: Dishidros, 2015)

Digitasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autocad Land Desktop 2009*, Peta Alur pelayaran tersebut sebelum dilakukan digitasi dilakukan rektifikasi peta sehingga memiliki proyeksi UTM-49S dengan datum WGS 1984. Untuk referensi kedalaman berdasarkan rata-rata air rendah terendah atau *Mean Lower Low Water (MLLW)* 14 dm di bawah duduk tengah atau

Mean Sea Level (MSL). Objek-objek yang digitasi adalah garis pantai, titik ketinggian dan kedalaman, kontur, jalur pelayaran, bangkai kapal karam, halangan dan objek-objek berbahaya. Berikut merupakan hasil digitasi.



Gambar 4.2 Hasil Digitasi Daratan, Batas Perairan *MLLW*, Titik Kedalaman dan Kontur Laut

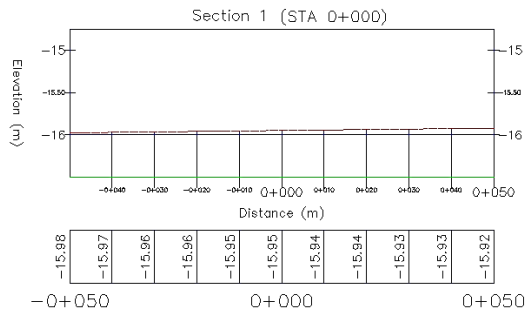


Gambar 4.3 Hasil Digitasi Alur Pelayaran, Titik Percabangan Alur, Bangkai Kapal Karam dan Obstruksi

4.2 Profil dan Fitur Alur Pelayaran

4.2.1 Analisis Kedalaman Alur Pelayaran

Data nilai kedalaman di peroleh dari digitasi titik dan kontur kedalaman Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya dengan referensi kedalaman rata-rata air rendah terendah (*MLLW*) 14 dm dibawah duduk tengah (*MSL*). Dalam menganalisis kedalaman alur pelayaran, Alur Pelayaran Barat Surabaya dibagi menjadi 96 penampang melintang. Lebar penampang melintang dibuat selebar 100 meter dengan 50 meter ke samping kanan (timur alur) dan 50 meter ke samping kiri (barat alur) dengan titik tengah di Jarak 0+000 meter dimulai dari Jarak -0+050 sampai dengan Jarak +0+050. Untuk *section* 1 (STA 0+000) terletak di pintu masuk alur dengan titik tengah alur pada kordinat 692825 m; 9241126 m, untuk *section* 96 (STA 44+313), yaitu *section* yang terletak di akhir alur dengan titik tengah alur pada koordinat 692211 m; 92048652 m.



Gambar 4.4 Penampang Melintang *Section* 1 (STA 0+000)

1. *Section* 1 (STA 0+000) -*Section* 2 (STA 0+500)

Section 1 memiliki dasar laut yang rata dengan kedalaman sekitar -15,95 meter. Untuk *section* 2 kedalaman turun ke -11 meter dengan kedalaman sekitar -11,56 meter dengan dasar permukaan yang rata.

2. *Section* 3 (STA 1+000) -*Section* 4 (STA 1+500)

Section 3 memiliki dasar laut yang rata dengan kedalaman sekitar -10,43 meter. Untuk *section 4*, memiliki kedalaman sekitar -10,63 meter dengan adanya kenaikan hingga kedalaman -10,89 meter dari Jarak-10 hingga Jarak-50

3. *Section 5 (STA 2+000) – Section 6 (STA 2+500)*

Section 5 memiliki kedalaman menurun dari batas *section* barat (Jarak-50) -10,78 meter hingga ke batas *section* timur (Jarak+50) -12,89 meter. *Section 6* memiliki kedalaman yang menurun dari Jarak-50 dengan kedalaman -10,98 meter hingga ketitik tengah alur dengan kedalaman -12,08 meter, dari titik tengah alur hingga Jarak+50 kedalaman relatif datar di kedalaman sekitar -12 meter.

4. *Section 7 (STA 3+000) -Section 8 (STA 3+500)*

Section 7 memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10,86 meter hingga -11,07 meter. Untuk *section 8* memiliki kedalaman yang meningkat dari sisi barat ke sisi timur dari kedalaman -10,72 meter hingga -10,10 meter.

5. *Section 9 (STA 4+000) -Section 10 (STA 4+500)*

Section 9 memimiliki kedalaman -11,11 meter hingga -12,27 meter, menurun dari Jarak-50 dengan kedalaman -11,11 meter hingga titik tengah alur dengan kedalaman -12,27 meter lalu mendatar hingga Jarak+30 dan meningkat hingga kedalaman -11,83 meter pada Jarak+50. Untuk *section 10* memiliki dasar laut yang mendatar dengan kedalaman sekitar -11,74 meter, untuk Jarak-50 hingga Jarak-30 terjadi penurunan dari -10,95 hingga -11,80 meter.

6. *Section 11 (STA 5+000) -Section 12 (STA 5+500)*

Section 11 dan *12* mempunyai dasar laut yang datar dengan kedalaman masing masing *section* adalah sekitar -11,20 meter dan -10,7 meter.

7. *Section 13 (STA 6+000) -Section 14 (STA 6+500)*

Section 13 memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman sekitar 10,17 meter, untuk *section 14* kedalaman menurun dari batas *section* barat hingga *section* timur dengan kedalaman -10,12 meter hingga -10,25 meter.

8. *Section 15 (STA 7+000) -Section 1 (STA 7+500)*

Kedalaman pada *section 15* meningkat dari batas *section* barat dengan kedalaman -10,51 meter hingga batas *section* timur dengan kedalaman -10,37 meter. Untuk *section 16*, kedalaman pada *section 16* meningkat dari batas *section* barat dengan kedalaman -10,86 meter hingga batas *section* timur dengan kedalaman -10,59 meter.

9. *Section 17 (STA 8+000) -Section 18 (STA 8+500)*

Section 17 memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman sekitar -10,15 meter. *Section 18* memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10,66 meter dari Jarak-50 hingga Jarak-20, dari Jarak-20 hingga Jarak+50 terjadi kenaikan dari kedalaman -10,66 meter hingga kedalaman -10,29 meter.

10. *Section 19 (STA 9+000) -Section 20 (STA 9+500)*

Section 19 dan *20* sama-sama memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10 meter.

11. *Section 21 (STA 10+000) -Section 22 (STA 10+500)*

Section 21 dan *22* sama-sama memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10 meter.

12. *Section 23 (STA 11+000) -Section 24 (STA 11+500)*

Section 23 dan *24* sama-sama memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10 meter.

13. *Section 25 (STA 12+000) -Section 26 (STA 12+500)*

Pada *section 25* kedalaman pada Jarak-50 sampai Jarak+10 mengalami penurunan dari kedalaman -10 meter hingga kedalaman -10,27 meter untuk Jarak+10 hingga +50 kedalaman rata sekitar -10,28 meter. Untuk *section 26*, dasar lautnya berbentuk cekungan dengan

kedalaman terendah di Jarak+0 sebesar -13.04 meter, Jarak-50 memiliki kedalaman -12,55 meter, kedalaman paling rendah terdapat di Jarak+50 dengan kedalaman -11,88 meter.

14. *Section 27 (STA 12+633) -Section 28 (STA 13+000)*

Section 27 terletak di tikungan alur pelayaran memiliki bentuk dasar laut berbentuk cekungan, Jarak-50 sampai Jarak-20 mengalami penurunan dari kedalaman -12,96 meter hingga kedalaman -13,67 meter, dari Jarak-20 ke Jarak+50 mengalami peningkatan dari kedalaman -13,67 meter hingga kedalaman -12,07 meter. Pada *section 28*, batas alur bagian barat terdapat penurunan yang signifikan dari Jarak-50 dengan kedalaman -11,66 ke Jarak-40 dengan kedalaman -12,56 meter untuk Jarak-40 hingga Jarak+20 dasar laut tergolong datar dengan kedalaman sekitar -12,70 meter, untuk Jarak+20 hingga Jarak+50 terjadi peningkatan dari kedalaman -12,73 meter hingga kedalaman -12,08 meter.

15. *Section 29 (STA 13+500) -Section 30 (STA 14+000)*

Untuk *section 29* terjadi penurunan dari batas barat alur hingga batas timur alur, dari kedalaman -11,08 meter pada batas barat alur hingga kedalaman -11,30 meter pada batas timur alur. *Section 30* memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman -10 meter.

16. *Section 31 (STA 14+500) -Section 32 (STA 15+000)*

Untuk *section 31*, Jarak-50 hingga Jarak+0 (titik tengah alur) memiliki penurunan sebesar 36 centimeter, dari kedalaman -10,12 hingga kedalaman -10,48 meter dari batas barat alur ke batas timur alur. Dari Jarak+0 hingga Jarak+50 dasar laut *section 31* berbentuk datar dengan kedalaman sekitar -10,52 meter. *Section 32* memiliki dasar yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur dari kedalaman -10,14 meter hingga kedalaman -10,63 meter.

17. *Section 33 (STA 15+500) -Section 34 (STA 16+000)*

Untuk *section 33* dasar lautnya rata dengan kedalaman sekitar -10,12 meter. *Section 34* memiliki dasar laut yang agak menanjak dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman -10,58 hingga -10,44 meter.

18. *Section 35 (STA 16+500) -Section 36 (STA 17+000)*

Section 35 memiliki dasar laut yang menanjak dari batas alur barat hingga batas alur timur, dengan kedalaman -11,38 hingga -11,05 meter. *Section 36* memiliki dasar laut yang relatif datar dengan kedalaman sekitar -11,60.

19. *Section 37 (STA 17+500) -Section 38 (STA 18+000)*

Kedalaman pada *Section 37* turun kekedalaman sekitar -12,48 meter dengan dasar laut yang datar. *Section 38* memiliki dasar laut yang relatif datar dengan kedalaman sekitar -13,78 meter, dengan peningkatan terjadi di Jarak+20 ke Jarak+50 dari kedalaman -13,82 meter kekedalaman -13,67 meter.

20. *Section 39 (STA 18+500) -Section 40 (STA 18+651)*

Section 39 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur dari kedalaman -14,60 kekedalaman -15,11 meter. *Section 40* memiliki kedalaman yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur, dari kedalaman -14,50 kekedalaman -15,05 meter, terletak di tikungan alur.

21. *Section 41 (STA 19+000) -Section 42 (STA 19+500)*

Section 41 memiliki kedalaman menurun dari batas alur barat ke batas alur timur dari kedalaman -15,99 meter kekedalaman -16,55 meter. *Section 42* memiliki dasar laut yang relatif datar dengan kedalaman sekitar -18,43 meter.

22. *Section 43 (STA 20+000) -Section 44 (STA 20+500)*

Section 43 memiliki kedalaman menurun dari batas alur barat ke batas alur timur dari kedalaman -20,74

kekedalaman -21 meter. Kedalaman di *section* 44 turun kekedalaman sekitar -20,46 meter dengan dasar laut yang relatif datar.

23. *Section* 45 (STA 21+000) - *Section* 46 (STA 21+072)

Section 45 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman dari -21,43 meter kekedalaman -11,27 meter. *Section* 46 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur dari kedalaman -21,48 meter kekedalaman -22,32 meter, terletak di tikungan alur.

24. *Section* 47 (STA 21+500) - *Section* 48 (STA 22+000)

Section 47 memiliki kedalaman dengan beda tinggi batas alur sebesar 1,12 meter, dasar lautnya menurun dari batas alur timur ke batas alur barat dari kedalaman -20,92 meter kekedalaman -22,04 meter. Dasar laut untuk *section* 48 berbentuk relatif datar dengan kedalaman sekitar -20,37 meter.

25. *Section* 49 (STA 22+500) - *Section* 50 (STA 23+000)

Section 49 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman dari -22,26 meter kekedalaman -23,22 dari batas barat alur hingga Jarak+40 dari Jarak+40 ke Jarak+50 ketinggian naik ke -23,18 meter. *Section* 50 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur dari kedalaman -21,41 kekedalaman -21,79 meter.

26. *Section* 51 (STA 23+500) - *Section* 52 (STA 24+000)

Section 51 memiliki kedalaman terendah sebesar -20,97 meter di batas alur sebelah barat dan tertinggi di batas alur timur dengan kedalaman -20,89 meter dengan bentuk meningkat dari batas alur barat hingga timur. *Section* 25 memiliki dasar laut yang agak meningkat dari batas alur sebelah barat dengan

kedalaman -20,26 meter ke batas alur sebelah timur dengan kedalaman -20,11 meter.

27. *Section 53 (STA 24+500) -Section 54 (STA 25+000)*

Section 53 dan *54* memiliki kedalaman yang meningkat dari batas alur barat hingga timur, untuk *section 53* dari kedalaman -19,81 kekedalaman -18,94 dan *section 54* dari kedalaman -16,29 meter kekedalaman -15,62 meter.

28. *Section 55 (STA 25+500) -Section 56 (STA 26+000)*

Section 55 memiliki dasar laut yang rata dengan kedalaman sekitar -15,97 meter pada Jarak-50 hingga Jarak+10, dari Jarak+10 hingga Jarak+50 kedalamannya meningkat kekedalaman -15,85 meter. *Section 56* memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman -18,66 kekedalaman -16,39 meter.

29. *Section 57 (STA 26+500) -Section 58 (STA 26+779)*

Section 57 memiliki dasar laut yang relatif datar, dengan kedalaman sekitar -15,99. *Section 58* memiliki dasar laut yang relatif datar, dengan kedalaman sekitar -16,10 meter.

30. *Section 59 (STA 27+000) -Section 60 (STA 27+500)*

Section 59 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur timur ke batas alur barat, dari kedalaman -15,60 meter kekedalaman -16,09. *Section 60* memiliki dasar laut yang meningat dari batas alur barat hingga batas alur timur dari kedalaman -15,79 kekedalaman -15,43 meter.

31. *Section 61 (STA 28+000) -Section 62 (STA 28+500)*

Kedalaman di *section 61* menurun drastis dari *section 60* kekedalaman sekitar 8 dan 7 meter, memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman -8,65 kekedalaman -7,70 meter. *Section 62* memiliki dasar laut meningkat

dari batas alur sebelah barat ke sebelah timur, dari kedalaman -11,06 meter kekedalaman -7,25 meter.

32. *Section 63 (STA 29+000) -Section 64 (STA 29+5000)*

Section 63 memiliki dasar laut meningkat dari batas alur sebelah barat ke sebelah timur, dari kedalaman -12,30 meter kekedalaman -10,79 meter. Sama seperti *section 63*, *section 64* memiliki dasar laut menurun dari batas alur sebelah barat ke sebelah timur, dari kedalaman -14,11 meter kekedalaman -15,27 meter

33. *Section 65 (STA 30+000) -Section 66 (STA 30+500)*

Section 65 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur, dengan kedalaman -13,27 meter kekedalaman -13,88 meter. Sama dengan *section 65*, *section 66* memiliki kedalaman menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur dengan kedalaman -12,21 ke kedalaman -12,65

34. *Section 67 (STA 31+000) -Section 68 (STA 31+440)*

Section 67 memiliki dasar laut yang agak datar dengan kedalaman sekitar -10,58 meter, *Section 68* berada di tikungan alur, memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur *section*, dengan kedalaman dari -14,01 kekedalaman -12,23 meter.

35. *Section 69 (STA 31+500) -Section 70 (STA 32+000)*

Section 68 memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur *section*, dengan kedalaman dari -14,52 kekedalaman -13,01 meter. *Section 70* memiliki dasar laut yang agak datar dengan kedalaman sekitar -11,47 meter.

36. *Section 71 (STA 32+500) -Section 72 (STA 33+000)*

Section 71 memiliki kedalaman yang menurun dari batas alur barat (Jarak-50) hingga Jarak+10 dari kedalaman -17,47 menurun kekedalaman -20 meter, untuk Jarak+10 hingga batas alur timur (Jarak+50) dasar laut datar dengan kedalaman -20 meter. *Section*

- 72 memiliki kedalaman menurun dari batas alur barat (Jarak-50) ke titik tengah alur dari kedalaman -19,53 menurun kekedalaman -20 meter, untuk titik tengah alur hingga batas alur timur (Jarak+50) dasar laut datar dengan kedalaman sekitar -20,03 meter.
37. *Section 73 (STA 33+500) -Section 74 (STA 34+000)*
Section 73 memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman sekitar -20,06 meter. *Section 74* memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman sekitar -12,07 meter.
38. *Section 75 (STA 34+500) -Section 76 (STA 35+000)*
Section 75 memiliki kedalaman yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -25,66 meter kekedalaman -23,52 meter. *Section 76* memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur *section*, dengan kedalaman dari -24,79 kekedalaman -25,47 meter.
39. *Section 77 (STA 35+500) -Section 78 (STA 36+000)*
Section 77 memiliki dasar laut yang agak datar dengan titik terendah di tengah *section* dengan kedalaman -24,23 meter. *Section 78* memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur *section*, dengan kedalaman dari -24,55 kekedalaman -25,53 meter.
40. *Section 79 (STA 36+500) -Section 80 (STA 37+000)*
Section 79 memiliki kedalaman terendah pada Jarak+20, dengan bentuk batas alur yang lebih tinggi, batas alur barat dengan kedalaman -24,96 meter dan batas alur timur dengan kedalaman -25,31 meter. *Section 80* memiliki dasar laut yang agak menurun dari batas alur barat ke batas alur timur *section*, dengan kedalaman dari -24,55 kekedalaman -25,53 meter.
41. *Section 81 (STA 37+500) -Section 82 (STA 38+000)*
Section 81 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat hingga batas alur timur, dari kedalaman

-20,42 kekedalaman -21,20 meter. Sama dengan *section* 81, *section* 82 memiliki dasar laut yang menurun dari batas alur barat ke batas alur timur dari kedalaman -24,36 kekedalaman -25,78 meter.

42. *Section* 83 (STA 38+500) - *Section* 84 (STA 39+000)

Section 83 memiliki dasar laut dengan kedalaman meningkat dari batas alur barat hingga batas alur timur, dari kedalaman -22,35 meter kekedalaman -20,67 meter. *Section* 84 memiliki dasar laut yang dengan kedalaman yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur, dari kedalaman -21,17 kekedalaman -20,36 meter.

43. *Section* 85 (STA 39+500) - *Section* 86 (STA 40+000)

Jarak-50 (batas alur barat) hingga Jarak-30 pada *section* 85 memiliki dasar laut yang datar dengan kedalaman sekitar -19,93 meter, setelah itu dari Jarak-30 hingga Jarak+50 atau batas alur timur kedalaman meningkat dari kedalaman -19,92 kekedalaman -18,97 meter. *Section* 86 memiliki dasar laut dengan kedalaman yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur, dari kedalaman -18,24 kekedalaman -16,69 meter.

44. *Section* 87 (STA 40+500) - *Section* 88 (STA 41+000)

Section 87 memiliki kedalaman yang agak sedikit meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur dari kekedalaman -19,38 meter kekedalaman -17,80 meter. *Section* 88 memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur, dari kedalaman -19,78 kekedalaman -18,81 meter.

45. *Section* 89 (STA 41+500) - *Section* 90 (STA 41+965)

Section 89 memiliki kedalaman dasar laut yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -18,79 kekedalaman -16,77 meter. *Section* 90 terletak di tikungan alur, memiliki

kedalaman -18,52 di batas alur barat meningkat kekedalaman -16,61 di batas alur timur.

46. *Section 91 (STA 42+000) -Section 92 (STA 42+500)*

Section 91 memiliki dasar laut yang meningkat dari batas alur barat ke batas alur timur, dari kedalaman -12,88 meter kekedalaman -11,04 meter. Untuk *section 92* dari Jarak-50 ke Jarak-20 dasar laut menurun dari kedalaman -14,53 meter kekedalaman -14,73 meter, selanjutnya dari Jarak-20 ke batas alur timur kedalaman meningkat dari kedalaman -14,73 meter kekedalaman -13,06.

47. *Section 93 (STA 43+000) -Section 94 (STA 44+500)*

Section 89 memiliki kedalaman dasar laut yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -14,77 kekedalaman -14,28 meter. *Section 89* memiliki kedalaman dasar laut yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -16,08 kekedalaman -15,12 meter.

48. *Section 95 (STA 44+000) -Section 96 (STA 44+313)*

Section 89 memiliki kedalaman dasar laut yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -18,43 kekedalaman -17,23 meter. *Section 89* terletak di akhir alur APBS memiliki kedalaman dasar laut yang meningkat dari batas alur timur ke batas alur barat dengan kedalaman -22,99 kekedalaman -21,79 meter.

Dari hasil digitasi, lebar alur pelayaran dari STA 0+800 sampai STA 14+400 memiliki lebar alur dengan kedalaman lebih dari 10 meter yang sempit, rata-rata selebar 200 meter. Untuk selanjutnya dari STA 14+400 hingga STA terakhir, memiliki alur yang lebih lebar, lebih leluasa untuk olah gerak kapal. Kedalaman terendah terletak pada STA 28+500 dengan kedalaman terendah sebesar -7,253 meter terhadap *MLLW*, sedangkan kedalaman terdalam terletak pada STA 38+000 dengan kedalaman -25,779 meter.

4.2.2 Analisis Spesifikasi Kapal Terhadap Kedalaman Alur Pelayaran

Data kapal tanker PT. PERTAMINA diklasifikasikan kedalam 3 kategori yaitu *Small Vessel*, *Medium Vessel* dan *Large Vessel* yang dikategorikan berdasarkan bobot muatan maksimum kapal atau DWT. Beberapa spesifikasi kapal tanker milik PT. PERTAMINA dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal Tanker PT. PERTAMINA

Kelas	Nama	Bobot Mati (mt)	Panjang Kapal (m)	Draft Kapal (m)	Lebar Kapal (m)
Besar	Gunung Geulis	107.538	243,80	14,58	42,03
	Gamkonora	88.312	244,50	12,70	44,03
Sedang	Cendrawasih	36.503	172,15	11,75	26,00
	Fastron	30.770	180,00	9,00	30,50
	Senipah	29.754	180,00	9,20	30,53
	Pematang	17.706	158,00	7,02	25,84
Kecil	Plaju	6.500	108,00	6,00	20,00
	Kamojang	6.500	105,00	6,00	20,00
	Mundu	3.675	90,00	5,00	15,20
	Matindok	3.500	90,00	5,00	15,20

Dengan menggunakan rumus kedalaman alur ideal, $H=d+G+R+P+S+K$ rumus (6) dengan mengabaikan nilai P, S dan K, kedalaman alur pelayaran ideal bagi tiap kapal diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 4.2 Kedalaman Ideal Kapal PT PERTAMINA

Kelas	Nama Kapal	Kedalaman Ideal (m)
Besar	Gunung Geulis	16,91
	Gamkonora	15,12
Sedang	Cendrawasih	13,38
	Fastron	10,83
	Senipah	11,03
	Pematang	8,64
Kecil	Plaju	7,37
	Kamojang	7,37
	Mundu	6,16
	Matindok	6,16

Dengan melihat kondisi kedalaman Alur Pelayaran Barat Surabaya yang memiliki nilai kedalaman terendah sebesar - 7,25 meter, kedalaman paling dalam sebesar -25,78 meter dan rata-rata kedalaman sebesar -15,24 meter terhadap *MLLW*, maka kapal tangker yang dapat melalui alur dengan aman hanya kapal dengan kategori kecil yaitu Kapal Matindok dengan kapasitas muatan sebesar 3.500 ton, Kapal Mundu dengan kapasitas muatan sebesar 3.675 ton.

4.2.3 Analisis Fitur Laut Terhadap Alur Pelayaran

Perairan Selat Madura di sebelah utara Surabaya atau pada Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki beberapa fitur laut yang dapat mengganggu kelancaran dan keamanan alur pelayaran baik yang diketahui maupun tidak diketahui kedalamannya yang terletak di beberapa tempat, sehingga tidak dianjurkan bagi kapal untuk mengarahkan kapal mendekati maupun melewati titik tersebut. Fitur Laut tersebut berupa bangkai kapal karam dan *obstruction* (rintangan), posisi titik-titik fitur dasar laut tersebut didapatkan dari

digitasi Peta Alur Pelayaran Barat dan Timur Surabaya tahun 2014.

A. Bangkai Kapal Karam

Perairan Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki fitur laut yang dapat mengganggu kelancaran dan keamanan alur pelayaran, salah satunya adalah bangkai kapal karam, beberapa diantaranya terletak tepat di alur pelayaran pada koordinat di bawah ini.

- 688811 m; 9230152 m
- 689028 m; 9230100 m
- 686553 m; 9205988 m

B. Rintangan

Perairan Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki fitur laut berupa rintangan yang dapat mengganggu kelancaran dan keamanan alur pelayaran. Beberapa dari rintangan tersebut terletak tepat di alur pelayaran pada koordinat dibawah ini.

- 691311 m; 9237384 m
- 689453 m; 9204540 m
- 691179 m; 9204804 m

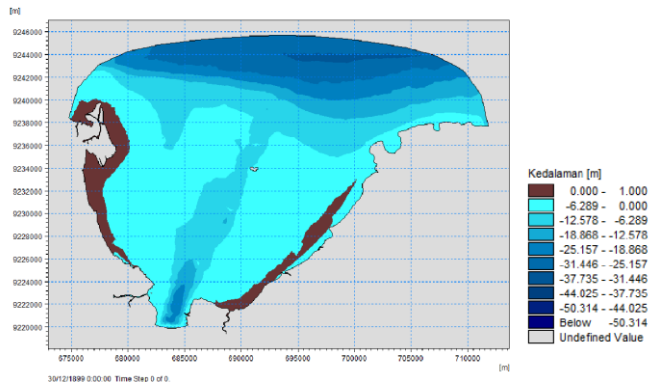
Selain rintangan dan obstruksi terdapat beberapa titik percabangan alur, titik tersebut merupakan titik bertemunya volume pelayaran dari rute alur pelayaran yang berbeda terletak di koordinat 691766 m; 9238153 m dan koordinat 683853 m; 9221099 m apabila pengaturan lalu lintas pelayaran pada titik tersebut tidak baik, maka akan terjadi penumpukan volume kapal yang bisa mengakibatkan kecelakaan pelayaran berupa tabrakan antar kapal.

4.3 Pemilihan Lokasi Titik Model Tumpahan

Untuk titik pemodelan yang akan digunakan sebagai titik sumber tumpahan minyak akibat kecelakaan pelayaran, dipilih pada koordinat 688811 m; 9230152 m dimana pada titik ini terdapat bangkai kapal karam dengan alur pelayaran yang memiliki kedalaman lebih dari 10 meter adalah selebar 200 meter.

4.4 *Mesh*

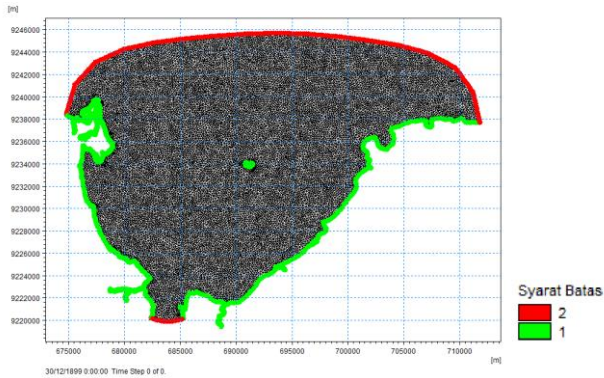
Sebelum melakukan pemodelan hidrodinamika, dilakukan pembuatan *mesh* daerah perairan model yang terletak pada koordinat $06^{\circ}46'57,3''\text{LS} - 07^{\circ}05'19,2''\text{LS}$ dan $112^{\circ}35'00,6''\text{BT} - 112^{\circ}56'47,6''\text{BT}$ perairan model merupakan bagian utara dari perairan APBS dengan batas timur merupakan pesisir Kabupaten Gresik, sedangkan batas barat merupakan pesisir Kabupaten Bangkalan. Dalam pembuatan *mesh* ditentukan syarat *mesh* berupa maksimum area elemen sebesar 25.000 m^2 , sudut maksimal yang dibuat sebesar 30 derajat, dan maksimum *nodes* sebanyak 25.000 yang menghasilkan jumlah elemen *mesh* sebanyak 41.827 dan jumlah *node mesh* sebanyak 22.092. Dari *mesh* yang dibuat, didapatkan area elemen *mesh* yang paling sempit sebesar 3.78 m^2 dan sudut terkecil sebesar 9 derajat.



Gambar 4.5 *Mesh* Perairan APBS

Semakin banyak jumlah elemen dan *node mesh* maka semakin detail dan teliti hasil pemodelan yang didapatkan, tetapi dalam pemrosesan datanya juga akan memakan waktu yang lebih lama juga. Gradasi warna menunjukkan perbedaan ketinggian dan kedalaman hasil dari interpolasi titik batimetri, rentang ketinggian dan kedalaman di perairan APBS memiliki rentang dari 1 meter hingga lebih -33,4 meter. Dalam pembuatan *mesh* ini ditetapkan

syarat batas (*Boundary Condition*) yang bisa dilihat pada Gambar 4.6 yaitu batas tertutup berupa daratan dengan nilai 1 (hijau) dan batas terbuka berupa laut dengan nilai 2 (merah).



Gambar 4.6 Syarat Batas (*Boundary Condition*) Daratan dan Lautan

4.5 Pasang Surut

Analisis dan prediksi pasang surut menggunakan perangkat lunak *Mike 21* modul *Toolbox* dengan *input* data adalah data pasang surut Stasiun Pasang Surut Surabaya yang diperoleh dari BIG selama 8 bulan dari bulan Maret hingga bulan Oktober pada tahun 2013, 2014 dan 2015. Dari hasil analisis pasang surut model diperoleh:

Tabel 4.3 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2013

Tahun 2013			
	Terendah (m)	Tertinggi (m)	Rata-rata (m)
BIG	0,020	2,690	1,221
Model	-0,028	2,666	1,221
Selisih Paling Besar (m)		0,782	Timestep 469
Selisih Paling Kecil (m)		0	Timestep 419
Rata-rata Selisih (m)		0,054	
RMSE		0,069	

Tabel 4. 4 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2013

Konstituen	Amplitudo (m)	Fase (derajat/jam)
M2	0,3738	117,07
S2	0,2169	123,95
N2	0,0703	106,77
K2	0,057	125,01
K1	0,4772	201,65
O1	0,2743	164,98
P1	0,1435	203,3
M4	0,221	192,56
MS4	0,0224	170,82
Z0	1,2361	-

Dari hasil analisa pasang surut BIG dan pasang surut hasil pemodelan bulan Maret hingga Oktober 2013 menunjukkan beda nilai pasang surut tertinggi sebesar 0,782 meter dengan rata-rata selisih pasang surut adalah 0,054 meter dengan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* model sebesar 0,069.

Tabel 4.5 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2014

Tahun 2014			
	Terendah (m)	Tertinggi (m)	Rata-rata (m)
BIG	-0,120	2,500	1,104
Model	-0,123	2,493	1,104
Selisih Paling Besar (m)		0,199	Timestep 78
Selisih Paling Kecil (m)		0	Timestep 2209
Rata-rata Selisih (m)		0,044	
RMSE		0,055	

Tabel 4. 6 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2014

Konstituen	Amplitudo (m)	Fase (derajat/jam)
M2	0,3776	119,24
S2	0,2159	125,72
N2	0,0712	108,53
K2	0,0659	126,5
K1	0,4714	202,48
O1	0,2723	166,15
P1	0,142	206,27
M4	0,0163	195,86
MS4	0,0203	169,23
Z0	1,1177	-

Untuk hasil analisa pasang surut bulan Maret hingga Oktober 2014 menunjukkan beda nilai pasang surutt tertinggi sebesar 0,199 meter dengan rata-rata selisih pasang surut adalah 0,044 meter dengan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* model sebesar 0,055.

Tabel 4.7 Nilai Pasang Surut Bulan Maret-Oktober Tahun 2015

Tahun 2015			
	Terendah (m)	Tertinggi (m)	Rata-rata (m)
BIG	-0,130	2,420	1,078
Model	-0,139	2,367	1,078
Selisih Paling Besar (m)		0,224	Timestep 582
Selisih Paling Kecil (m)		0	Timestep 4209
Rata-rata Selisih (m)		0,049	
RMSE		0,061	

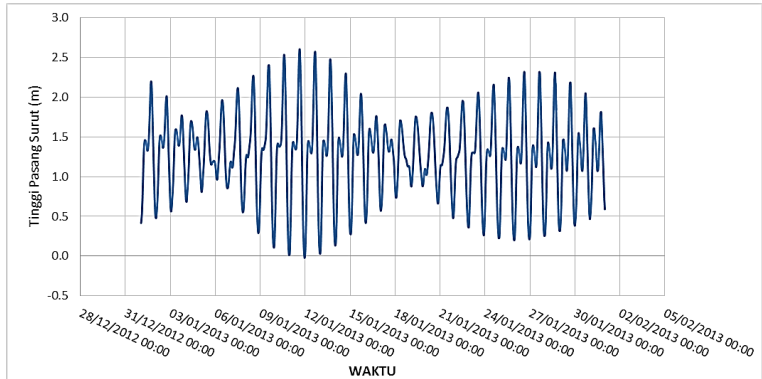
Tabel 4. 8 Konstituen Pasang Surut APBS Tahun 2015

Konstituen	Amplitudo (m)	Fase (derajat/jam)
M2	0,3802	119,85
S2	0,2144	127,25
N2	0,0714	108,85
K2	0,0672	133,29
K1	0,4624	203,87
O1	0,2702	116,6
P1	0,1428	207,35
M4	0,0146	178,47
MS4	0,0221	173,92
Z0	1,0834	-

Untuk hasil analisa pasang surut bulan Maret hingga Oktober 2015 menunjukkan beda nilai pasang surut tertinggi sebesar 0,224 meter dengan rata-rata selisih pasang surut adalah 0,049 meter dengan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* sebesar 0,061.

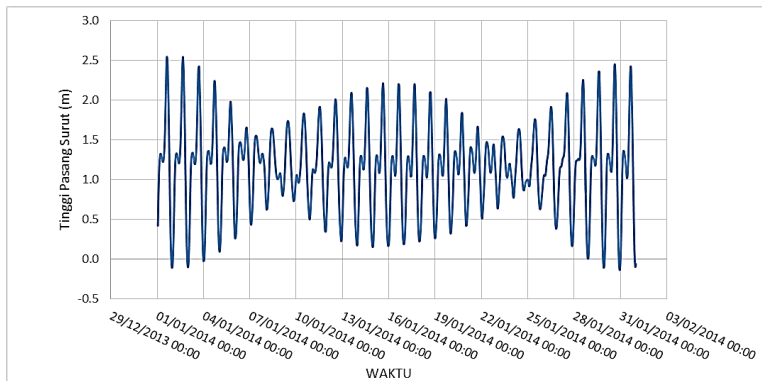
Dari perbandingan nilai pasang surut BIG dengan pasang surut model bulan Maret hingga Oktober tahun 2013, 2014 dan 2015, pasang surut hasil model tahun 2014 memiliki model pasang surut yang paling teliti dengan nilai *RMSE* pasang surut BIG dan pemodelan adalah sebesar 0,055 meter.

4.5.1 Pemodelan Pasang Surut (Musim Angin Barat)



Gambar 4. 7 Pasang Surut Pemodelan Januari 2013

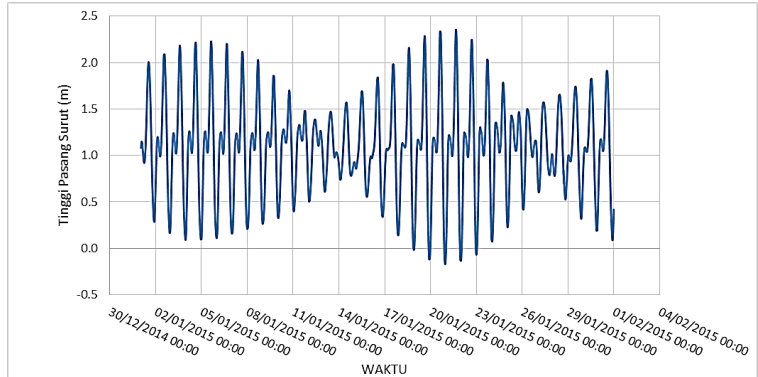
Pemodelan pasang surut musim angin barat dipilih untuk bulan Januari 2013. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah 2,601 meter dan surut terendah adalah -0,021 meter dengan rentang pasut adalah 2,622 meter.



Gambar 4.8 Pasang Surut Pemodelan Januari 2014

Pemodelan pasang surut musim angin barat dipilih untuk bulan Januari 2014. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah

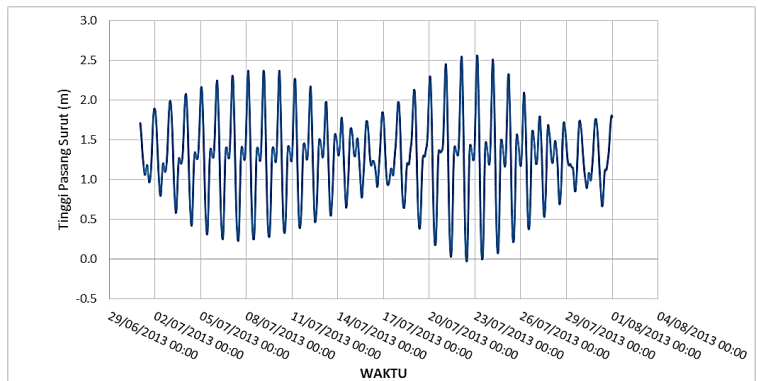
2,544 meter dan surut terendah adalah -0,139 meter dengan rentang pasut 2,683 meter.



Gambar 4.9 Pasang Surut Pemodelan Januari 2016

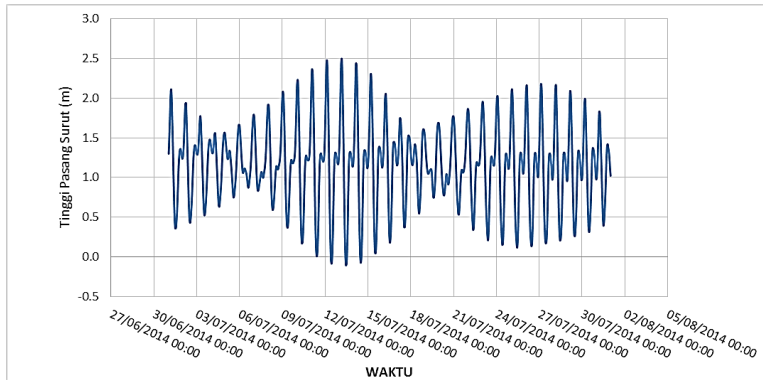
Pemodelan pasang surut musim angin barat dipilih untuk bulan Januari 2015. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah 2,355 meter dan untuk surut terendah adalah -0,170 meter dengan rentang pasut 2,525 meter.

4.5.2 Pemodelan Pasang Surut (Musim Angin Timur)



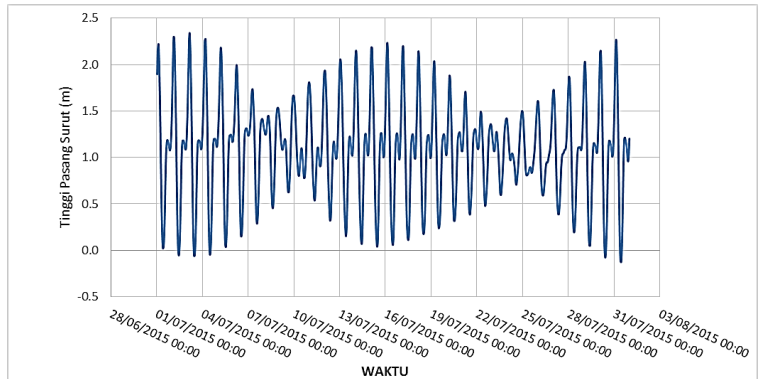
Gambar 4.10 Pasang Surut Pemodelan Juli 2013

Pemodelan pasang surut musim angin timur dipilih untuk bulan Juli 2013. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah 2,560 meter dan untuk surut terendah adalah -0,027 meter dengan rentang pasut 2,587 meter.



Gambar 4.11 Pasang Surut Pemodelan Juli 2014

Pemodelan pasang surut musim angin timur dipilih untuk bulan Juli 2014. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah 2,492 meter dan untuk surut terendah adalah -0,102 meter dengan rentang pasut adalah 2,594 meter.



Gambar 4.12 Pasang Surut Pemodelan Juli 2015

Pemodelan pasang surut musim angin timur dipilih untuk bulan Januari 2015. Didapatkan nilai pasang tertinggi adalah 2,340 meter dan untuk surut terendah adalah -0,127 meter dengan rentang pasut 2,467 meter.

4.6 Pemodelan Hidrodinamika

Pemodelan hidrodinamika menggunakan perangkat lunak *Mike 21 Flow Model FM (Flexible mesh)*, *Hydrodynamic* dan *Oil Spill*. Pemodelan hidrodinamik saat musim angin barat dan musim angin timur tahun 2013, 2014 dan 2015 dilakukan pada bulan Januari dan bulan Juli tanggal 11. Untuk parameter pemodelan yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika ini adalah:

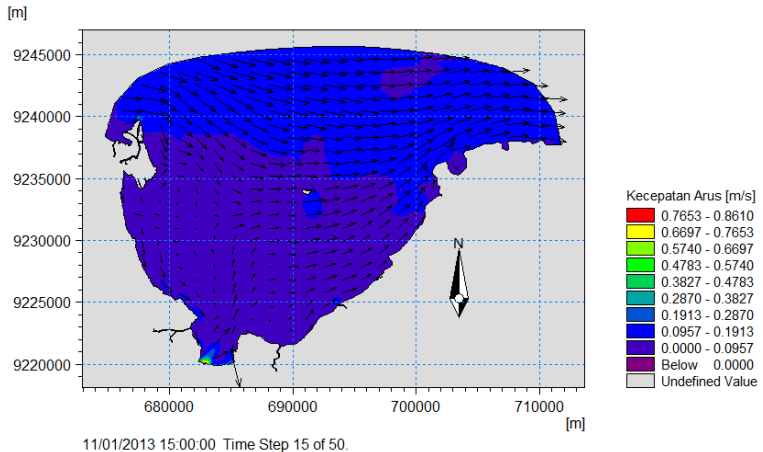
- a. Lama simulasi : 48 jam
- b. Banyak *step* : 48 *step*
- c. Rentang waktu/*step* : 3600 detik
- d. *Input data* : Data batimetri APBS, digitasi darat dan lautan, data pasang surut, data arah dan kecepatan angin, data suhu permukaan laut.
- e. Untuk parameter lain menggunakan nilai *default* perangkat lunak.

4.7 Hasil Pemodelan Hidrodinamika

4.7.1 Model Hidrodinamika Musim Angin Barat

A. 11 Januari Tahun 2013

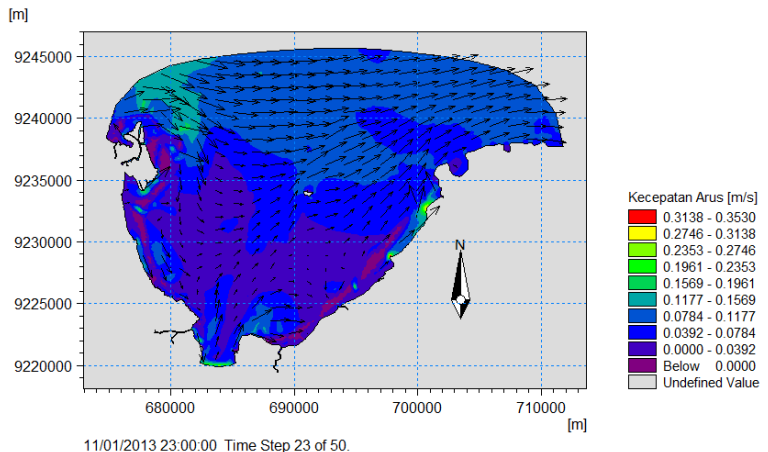
Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 15:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,861 m/s. Terlihat arus perairan Gresik sebelah utara (Laut Jawa) dominan menuju ke arah timur, untuk arus dari perairan Gresik sebelah barat (Selat Madura), arus mengarah ke timur laut menuju utara Pulau Madura. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2013
Saat Pasang Jam 15:00 WIB

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 23:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,353 m/s lebih rendah dari rentang kecepatan arus pada saat pasang. Keadaan arah arus saat surut tidak jauh berbeda seperti keadaan arah arus pada saat pasang, terlihat arus perairan Gresik

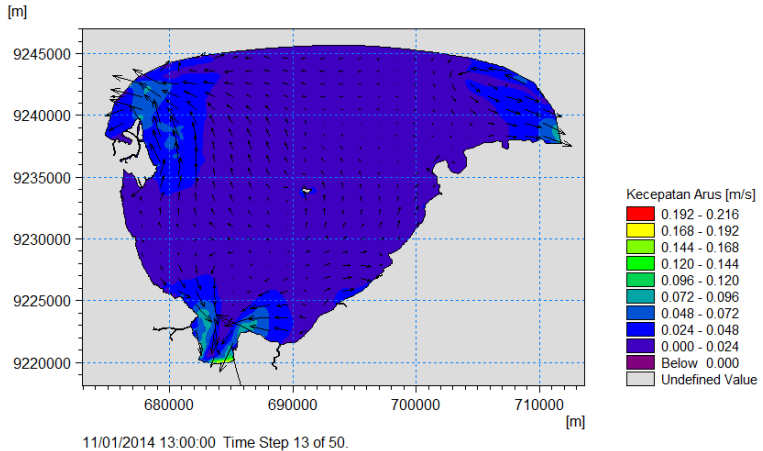
sebelah utara (Laut Jawa) dominan menuju ke arah timur, untuk arus dari perairan Gresik sebelah barat (Selat Madura), arus mengarah ke timur laut menuju utara Pulau Madura. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2013
Saat Surut Jam 23:00 WIB

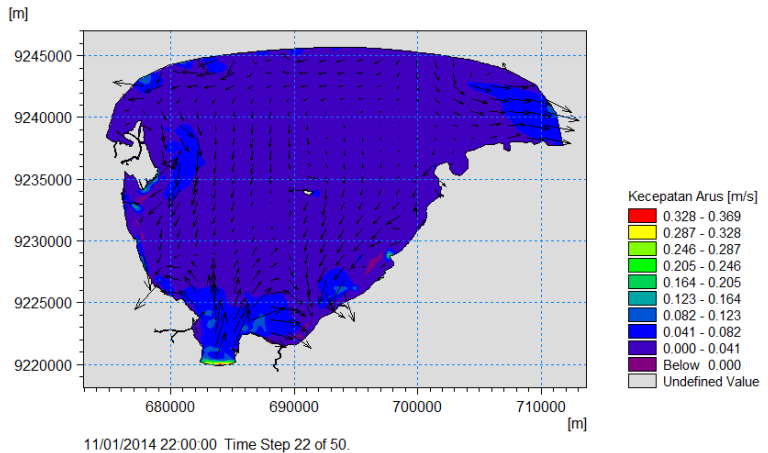
B. 11 Januari Tahun 2014

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 13:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,216 m/s. Arus terlihat mengarah keluar menjauhi titik tengah area model, arus bagian barat daya model arus cenderung mengarah ke barat, arus bagian timur laut area model cenderung mengarah ke timur, untuk arus daerah selatan model cenderung mengarah ke selatan. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2014
Saat Pasang Jam 13:00 WIB

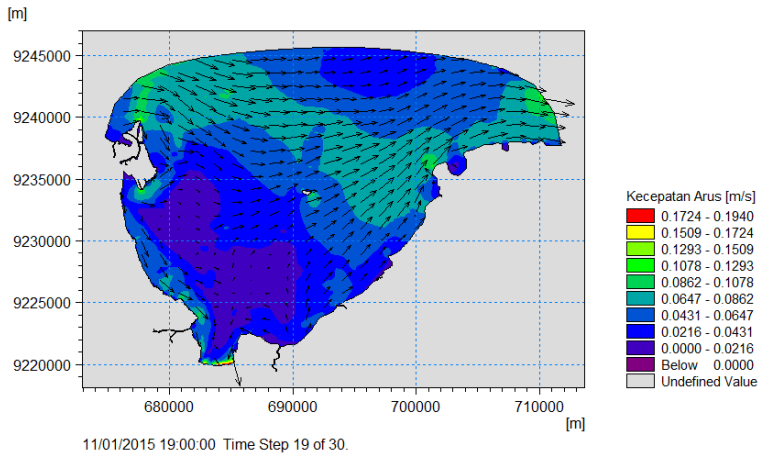
Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 22:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,369 m/s. Dari hasil pemodelan terlihat arah arus agak tidak beraturan, arus yang masuk dari selatan dari selat madura terpecah menyebar ke arah timur dan barat ke arah daratan, untuk arus diarea utara model aus cenderung mengarah ke timur (Laut Jawa), untuk arus yang masuk dari utara perairan Gresik, arus mengarah ke selatan sedikit dan menuju daratan Gresik bagian barat. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2014
Saat Surut Jam 22:00 WIB

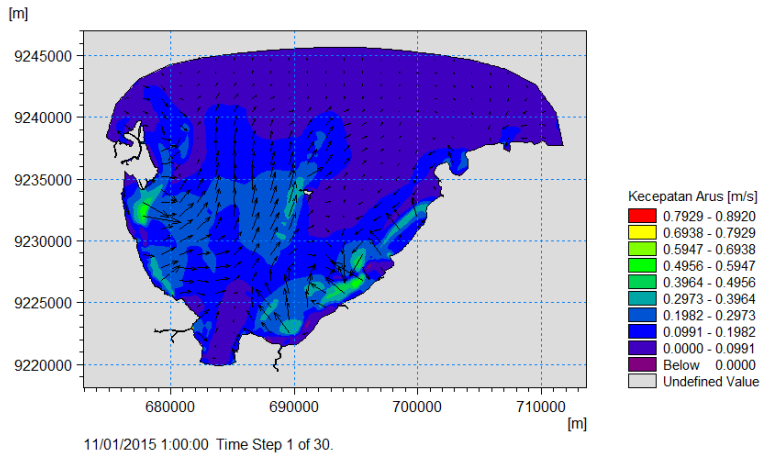
C. 11 Januari Tahun 2015

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 19:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,194 m/s. Terlihat arus dominan mengarah ke arah timur, mengarah ke perairan utara Pulau Madura. Selain itu terlihat sebagian kecil arus yang masuk dari utara Gresik menuju selatan model memasuki Selat Madura. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2015
Saat Pasang Jam 19:00 WIB

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 01:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,892 m/s. Terlihat arus di tengah area model mengarah ke utara area model dan terjadi perputaran arus di beberapa titik area model Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.18.

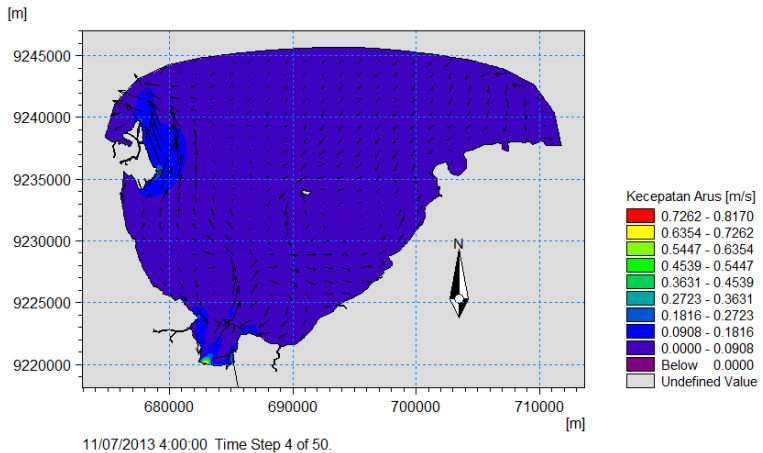


Gambar 4.18 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Januari 2015
Saat Surut Jam 01:00 WIB

4.7.2 Model Hidrodinamika Musim Angin Timur

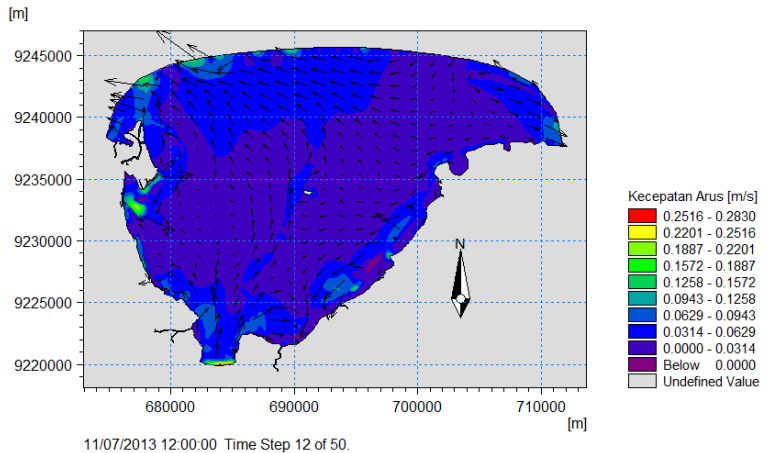
A. 11 Juli Tahun 2013

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 04:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,817 m/s. Terlihat arus yang masuk dari selatan area model (Selat Madura) menalami perputaran arus di bagian selatan area model, arus dari tengah are model mengarah ke utara perairan Gresik, untuk arus yang masuk dari utara Pulau Madura mengarah ke tengah area model lalu menuju ke daratan Kabupaten Bangkalan bagian barat. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2013 Saat Pasang Jam 04:00 WIB

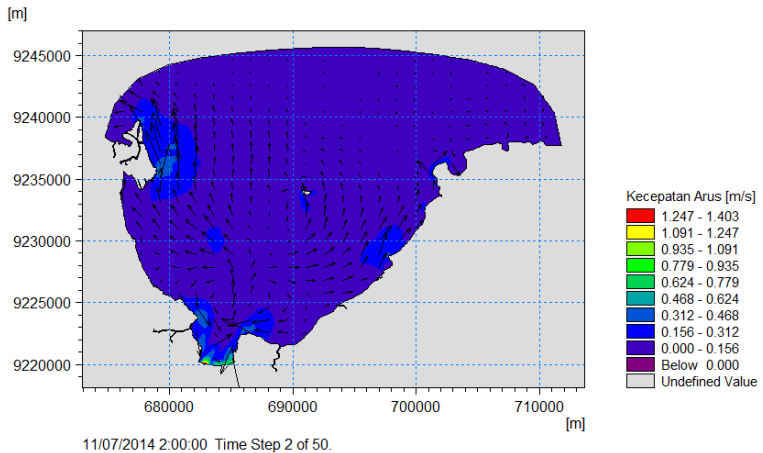
Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 12:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,283 m/s. Terlihat arus dominan mengarah ke utara perairan Gresik. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2013 Saat Surut Jam 12:00 WIB

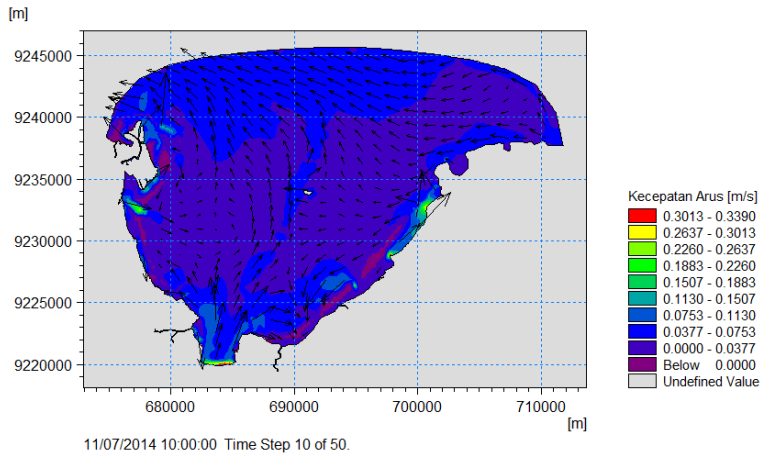
B. 11 Juli Tahun 2014

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 02:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 1,403 m/s. Terlihat arus pada area model dominan mengarah ke utara perairan Gresik, untuk area selatan model arus cenderung menuju selatan model (Selat Madura) Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2014 Saat Pasang Jam 02:00 WIB

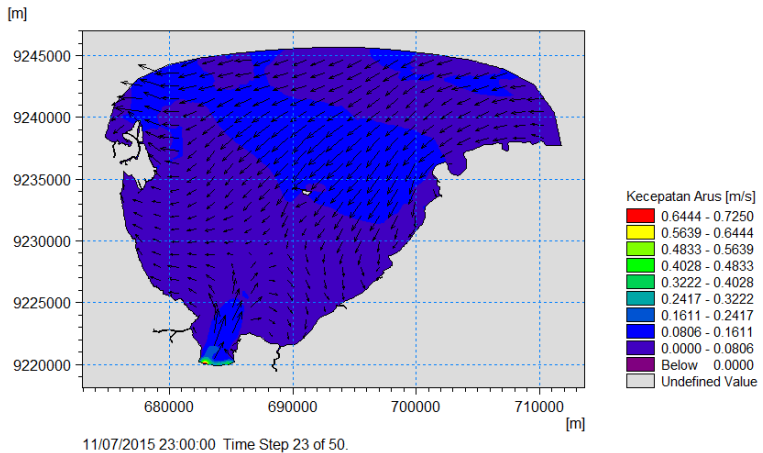
Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 10:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,339 m/s. Terlihat arus pada area model dominan mengarah ke utara perairan Gresik Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2014 Saat Surut Jam 10:00 WIB

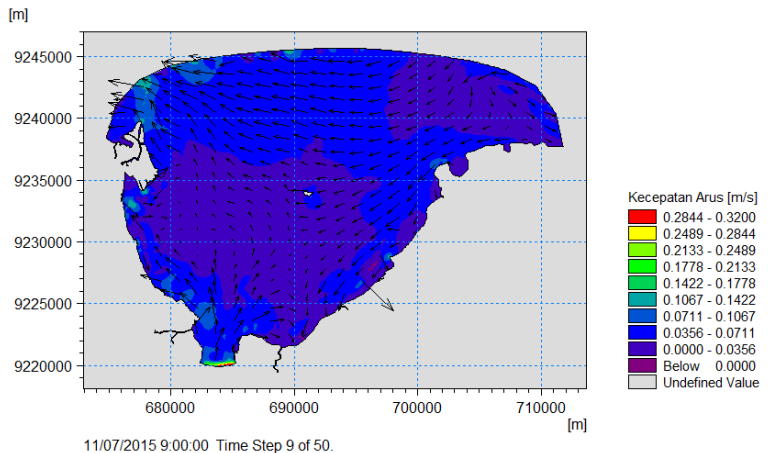
C. 11 Juli Tahun 2015

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu pasang pada jam 23:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,725 m/s. Terlihat arus yang masuk dari utara Pulau Madura mengarah ke tengah area model lalu mengarah ke daratan Kabupaten Bangkalan bagian barat dan daratan Kabupaten Gresik bagian timur. Untuk arus yang masuk dari Selat Madura area model bagian selatan arus terbagi menjadi dua, mengarah ke daratan Kabupaten Gresik dan daratan Kabupaten Bangkalan. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2015 Saat Pasang Jam 23:00 WIB

Berdasarkan hasil pemodelan, pada waktu surut pada jam 09:00 WIB kecepatan arus area pemodelan berkisar antara 0 hingga 0,320 m/s. Sama seperti saat keadaan pasang, terlihat arus yang masuk dari utara Pulau Madura mengarah ke tengah area model lalu mengarah ke daratan Kabupaten Bangkalan bagian barat dan daratan Kabupaten Gresik bagian timur. Untuk arus yang masuk dari Selat Madura area model bagian selatan arus terbagi menjadi dua, mengarah ke daratan Kabupaten Gresik dan daratan Kabupaten Bangkalan. Untuk keadaan area model dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Kondisi Arus Wilayah Model 11 Juli 2015 Saat Surut Jam 09:00 WIB

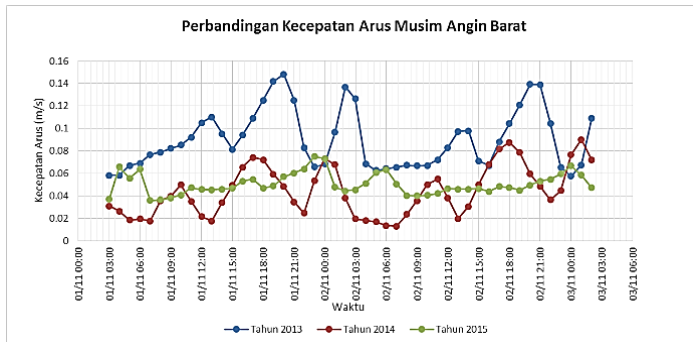
Secara garis besar, keadaan arus di perairan APBS bagian utara model dipengaruhi oleh arus perairan Laut Jawa yang merupakan perairan terbuka. Untuk keadaan arus di perairan APBS bagian selatan model dipengaruhi oleh arus dari perairan selat madura.

Dari hasil pemodelan hidrodinamika dan tumpahan minyak, pada musim angin barat arus perairan sebagian besar mengarah ke utara Pulau Madura (utara Kabupaten Bangkalan), pada musim angin timur arus perairan sebagian besar mengarah ke utara Pulau Jawa (utara Kabupaten Gresik). Pergerakan arus ini sejalan dengan pergerakan angin pada dua musim angin yaitu musim angin barat dan musim angin timur.

4.8 Perbandingan Arus Area Model

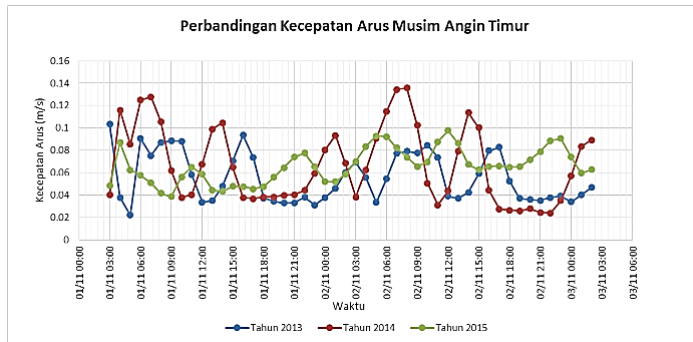
Untuk hasil pemodelan pada musim angin barat, kecepatan arus area model pada tahun 2013 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,148 m/s pada tanggal 11 Januari jam 20:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,090 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2014 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,090 m/s

pada tanggal 13 Januari jam 01:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,044 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2015 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,075 m/s pada tanggal 11 Januari jam 23:00 dengan rata-rata kecepatan arus 0,050 m/s.



Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Kecepatan Arus Musim Angin Barat

Untuk hasil pemodelan pada musim angin timur, kecepatan arus area model pada tahun 2013 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,103 m/s pada tanggal 11 Juli jam 03:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,055 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2014 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,136 m/s pada tanggal 12 Juli jam 08:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,067 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2015 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,098 m/s pada tanggal 12 Juli jam 12:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,066 m/s.



Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Kecepatan Arus Musim Angin Timur

4.9 Pemodelan Tumpahan Minyak

Pemodelan tumpahan minyak dilakukan untuk mengetahui pola penyebaran dan konsentrasi tumpahan minyak setelah terjadi tumpahan. Pemodelan tumpahan minyak musim angin barat dan musim angin timur tahun 2013, 2014 dan 2015 dilakukan pada bulan Januari dan bulan Juli dimulai setiap tanggal 11 digunakan perangkat lunak *Mike 21 Flow Model FM (Flexible mesh), Hydrodynamic and Oil Spill*. Untuk parameter yang digunakan dalam pemodelan tumpahan minyak ini adalah:

- Lama simulasi : 48 jam
- Banyak *step* : 48 *step*
- Rentang waktu/*step* : 3.600 detik
- Input data* :

Tabel 4.9 *Input Parameter Tumpahan Minyak*

Koordinat Sumber Tumpahan Minyak	688811 m E; 9230152 m N
Sumber Tumpahan Minyak	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Total tumpahan minyak sebanyak 1.250 ton ▪ Tiap jamnya (1 <i>step</i>), minyak yang tumpah sebanyak 104 ton

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tumpahan minyak keluar dari sumber tumpahan selama 12 Jam (12 <i>step</i>)
Karakteristik Minyak	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minyak Solar PT PERTAMINA ▪ <i>Density</i> (15°): 815-870 kg/m³ ▪ <i>Viscosity</i> (40°): 5,0 mm²/sec ▪ <i>Water content</i>: 500 mg/kg <p>Sumber: (PT. PERTAMINA (PERSERO), 2007)</p>

- e. Untuk parameter lain menggunakan nilai *default* perangkat lunak

4.10 Hasil Pemodelan Tumpahan Minyak

Laut merupakan lingkungan yang dinamis, berkaitan dengan tumpahan minyak, kecepatan dan arah pergerakan tumpahan minyak dan proses yang terjadi terhadap minyak dipengaruhi oleh kondisi di lingkungan tersebut. Hasil yang diperoleh dari pemodelan tumpahan minyak, kecepatan dan arah pergerakannya sangat dipengaruhi oleh arus laut.

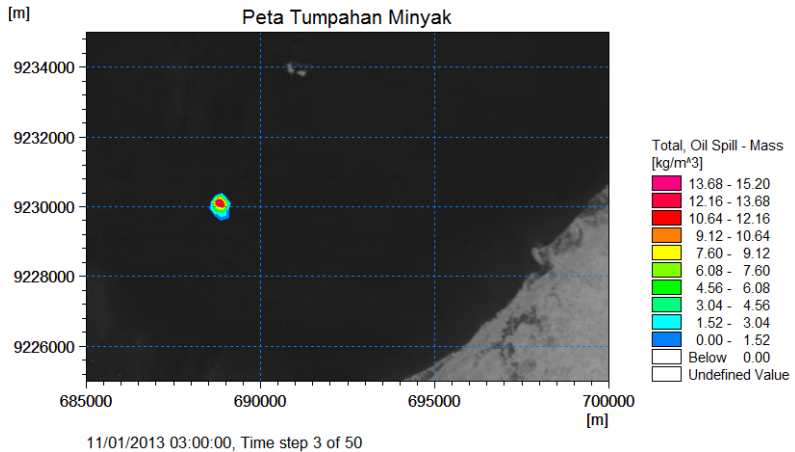
Pemodelan tumpahan minyak dilakukan selama dua hari di tiap musim pada tahun 2013, 2014 dan tahun 2015. Titik model tumpahan terletak di pertemuan arus dari laut Jawa dengan arus yang berasal dari Selat Madura jadi dalam memprediksi pergerakan tumpahan minyak, arah dan kecepatan pergerakan tumpahan minyak dipengaruhi oleh arus yang lebih mendominasi.

4.10.1 Model Tumpahan Minyak Musim Angin Barat

A. 11 Januari Tahun 2013

- 1 jam pasca tumpahan

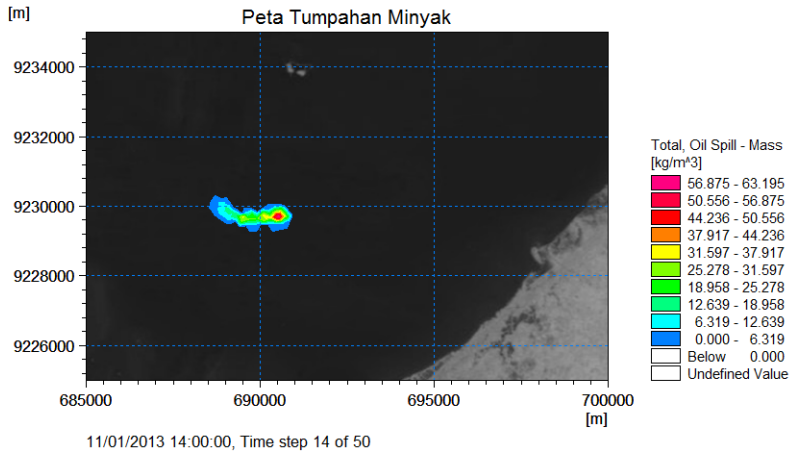
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin barat, 1 jam pasca tumpahan yaitu pada tanggal 11 Januari 2013 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengeilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 346.419 m² dengan konsentrasi 0 hingga 15,200 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 96,228 m²/s.



Gambar 4.27 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013

▪ 12 jam paska tumpahan

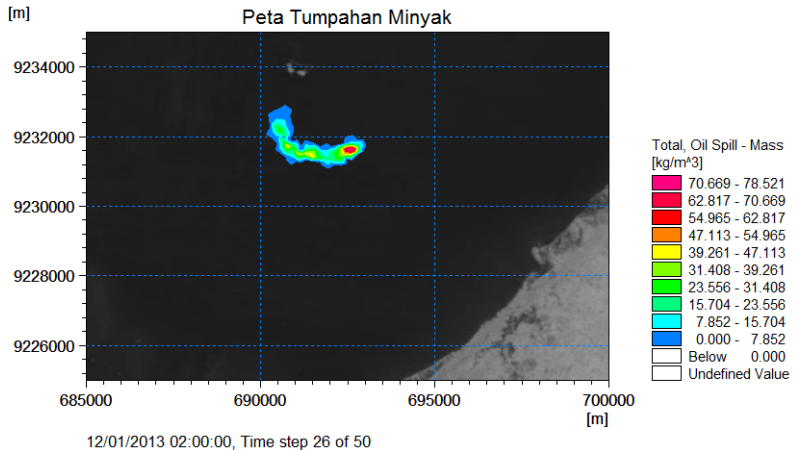
Kondisi 12 jam paska tumpahan, yaitu pada tanggal 11 Januari 2013 jam 14:00, tumpahan minyak mengarah ke timur, dengan luas tumpahan sebesar $1.385.439 \text{ m}^2$ dengan konsentrasi minyak 0 hingga $63,195 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $26,238 \text{ m}^2/\text{s}$.



Gambar 4.28 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013

- 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska tumpahan yaitu pada tanggal 12 Januari 2013 jam 02:00, tumpahan minyak mengalir ke arah ke timur laut, dengan luas tumpahan mencapai 2.054.548 m², konsentrasi minyak bervariasi dari 0 hingga 78,521 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 15,489 m²/s.

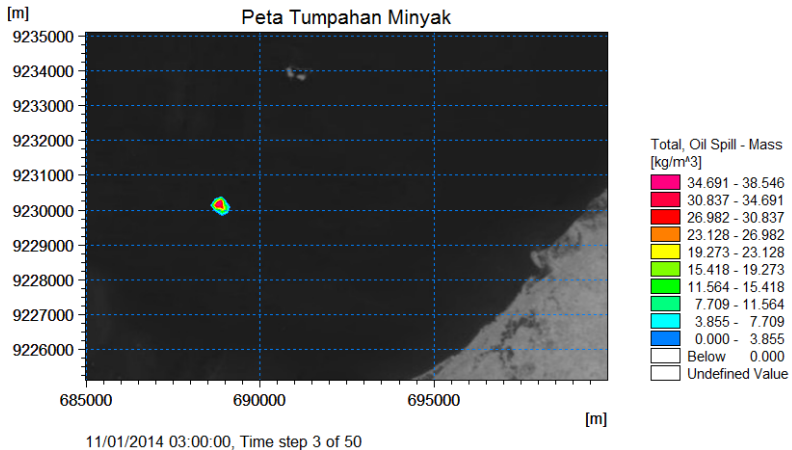


Gambar 4.29 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2013

B. 11 Januari Tahun 2014

■ 1 jam paska tumpahan

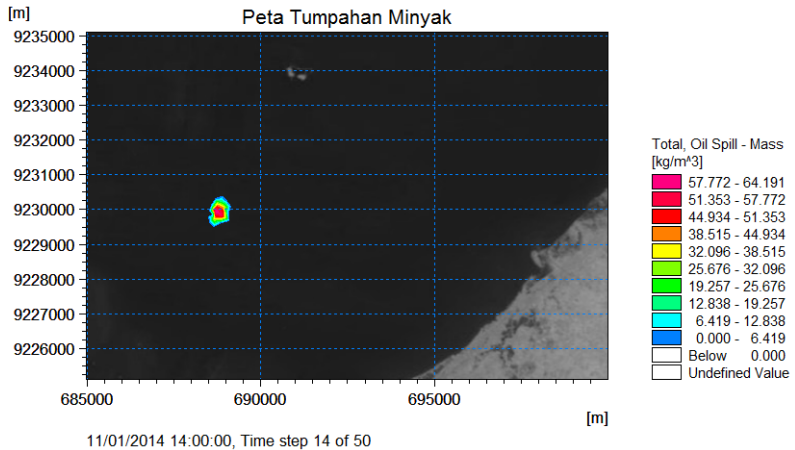
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin barat, 1 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Januari 2014 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengeilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 211.535 m² dengan konsentrasi 0 hingga 38,546 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 58,760 m²/s.



Gambar 4.30 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014

- 12 jam paska tumpahan

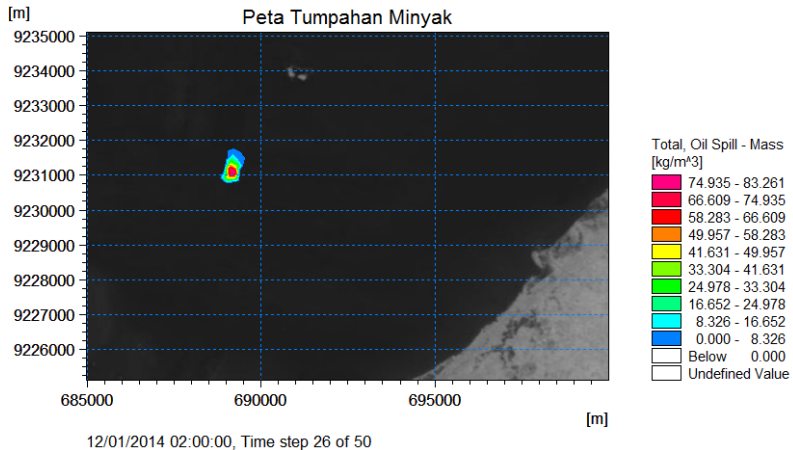
Kondisi 12 jam paska tumpahan yaitu pada tanggal 11 Januari 2014 jam 14:00, luas tumpahan minyak melebar mengelilingi sumber tumpahan menjadi 412.266 m² dengan konsentrasi minyak 0 hingga 64,191 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 5,069 m²/s.



Gambar 4.31 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014

- 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 12 Januari 2014 jam 02:00, tumpahan minyak bergerak ke arah timur laut dengan luasan sebesar 458.883 m^2 dengan konsentrasi 0 hingga $83,261 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $1,078 \text{ m}^2/\text{s}$.

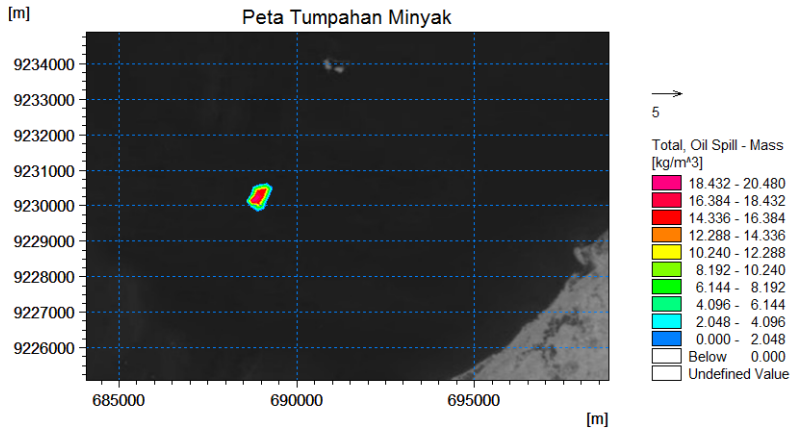


Gambar 4.32 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2014

C. 11 Januari Tahun 2015

■ 1 jam paska tumpahan

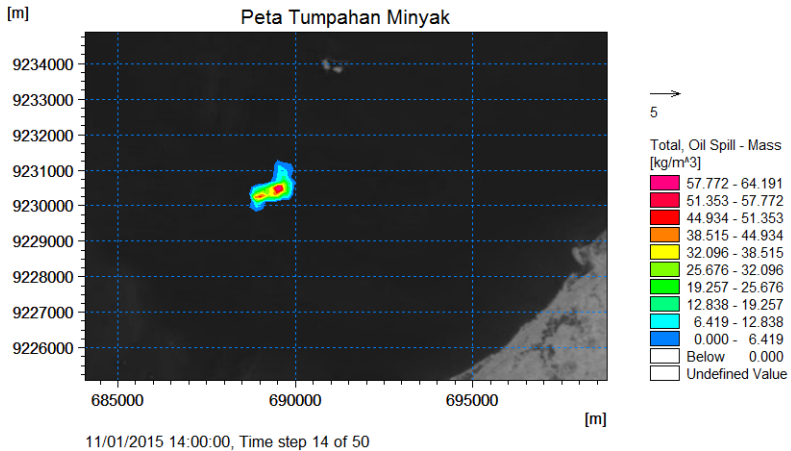
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin barat, 1 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Januari 2015 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengeilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 388.342 m² dengan konsentrasi 0 hingga 20,480 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 107,873 m²/s.



Gambar 4.33 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015

- 12 jam paska tumpahan

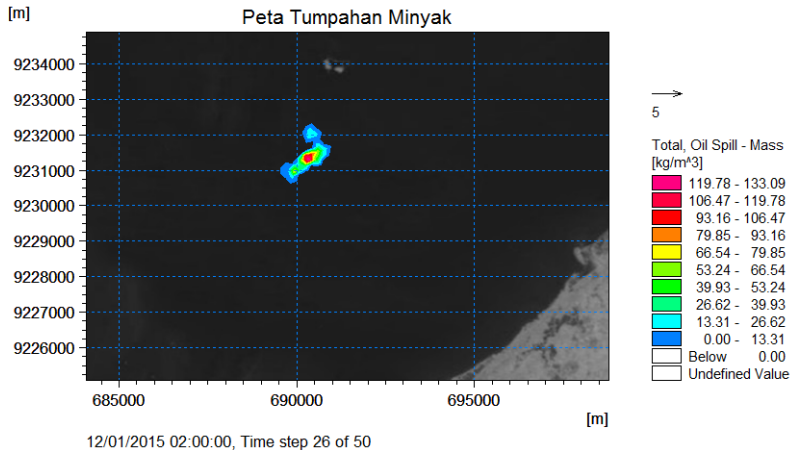
Kondisi 12 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Januari 2015 jam 14:00, tumpahan minyak melebar hingga luas 1.028.438 m², dengan konsentrasi minyak dari 0 hingga 64,191 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 16,164 m²/s.



Gambar 4.34 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015

■ 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska terjadinya tumpahan minyak yaitu pada tanggal 12 Januari 2015 jam 02:00, tumpahan minyak bergerak ke arah timur laut, luas tumpahan melebar hingga 961.997 m² dengan konsentrasi minyak tumpahan 0 hingga 133,090 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 1,538 m²/s.



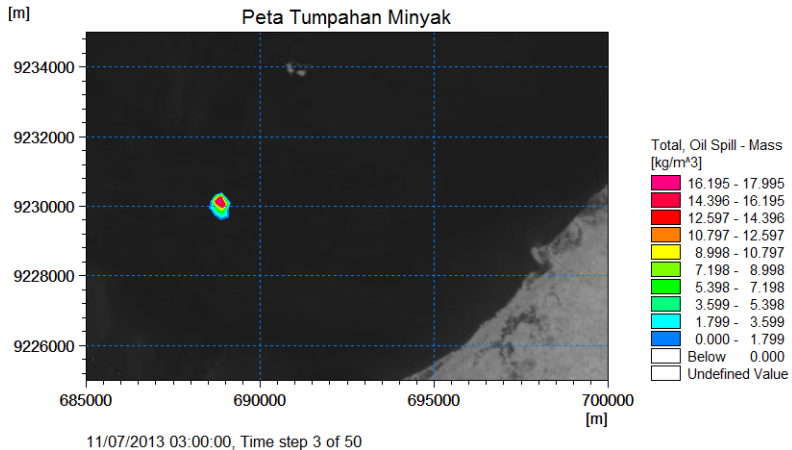
Gambar 4.35 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Januari 2015

4.10.2 Model Tumpahan Minyak Musim Angin Timur

A. 11 Juli Tahun 2013

▪ 1 jam paska tumpahan

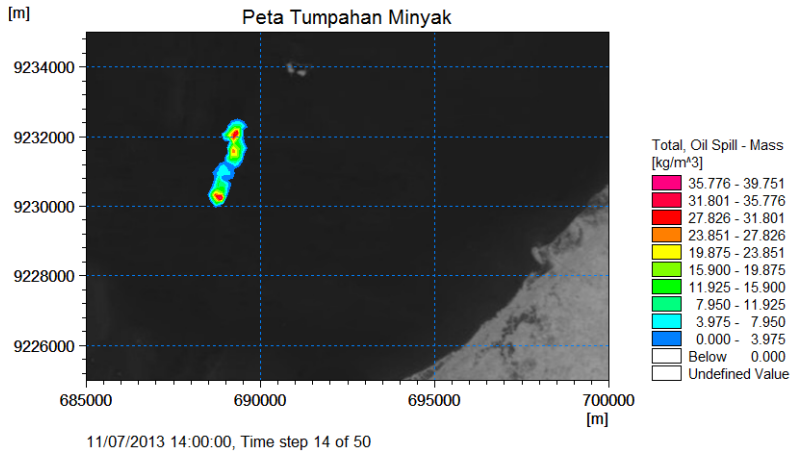
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin timur, 1 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Juli 2013 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengelilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 344.399 m² dengan konsentrasi 0 hingga 17,995 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 95,666 m²/s.



Gambar 4.36 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2013

- 12 jam paska tumpahan

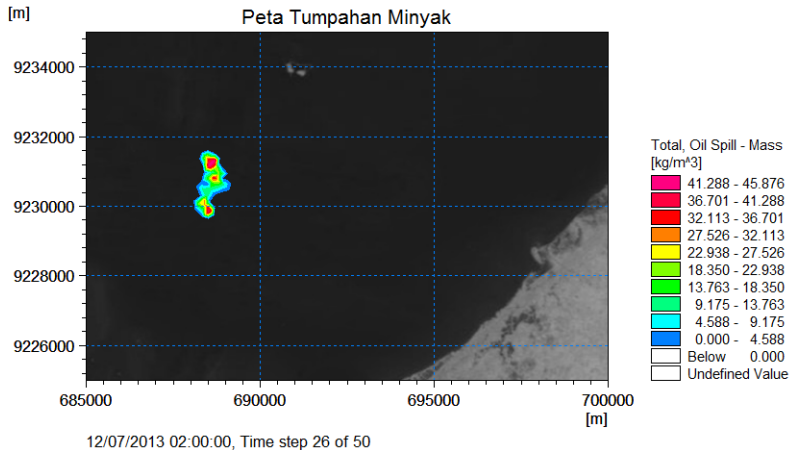
Kondisi 12 jam paska terjadinya tumpahan yaitu pada tanggal 11 Juli 2013 jam 14:00, tumpahan minyak mengarah ke utara dari sumber tumpahan minyak, setelah 12 jam paska tumpahan, luas tumpahan mencapai $1.342.856 \text{ m}^2$ dengan konsentrasi tumpahan dari 0 hingga $39,751 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $25,214 \text{ m}^2/\text{s}$.



Gambar 4.37 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska
Tumpahan Minyak 11 Juli 2013

■ 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska terjadinya tumpahan yaitu pada tanggal 12 Juli 2013 jam 02:00, tumpahan bergerak ke arah barat daya, dengan luas tumpahan minyak sebesar $1.145.457 \text{ m}^2$, dengan konsentrasi minyak dari 0 hingga $45,876 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $4,569 \text{ m}^2/\text{s}$.

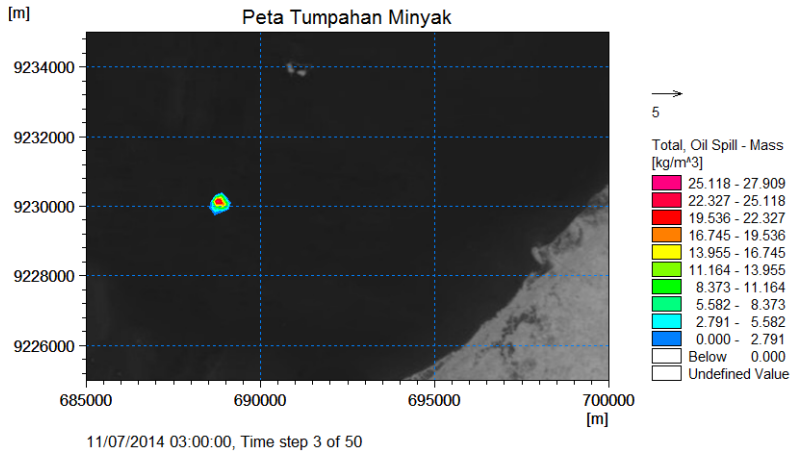


Gambar 4.38 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2013

B. 11 Juli Tahun 2014

■ 1 jam paska tumpahan

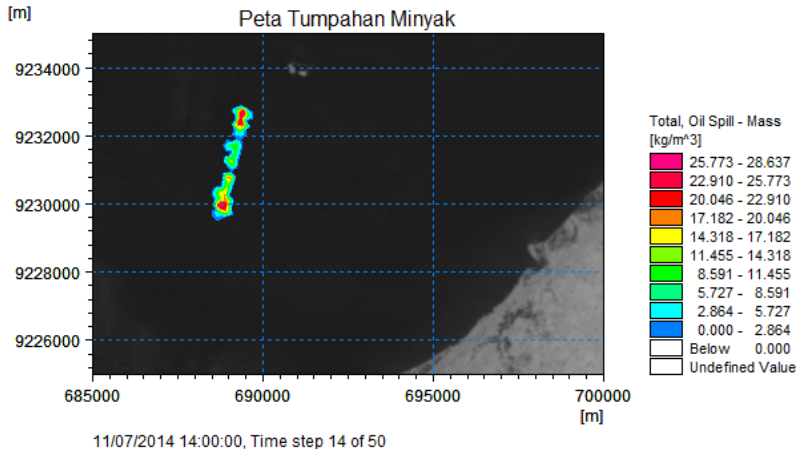
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin timur, 1 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Juli 2014 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengeilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 270.991 m² dengan konsentrasi 0 hingga 27,909 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 75,275 m²/s.



Gambar 4.39 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014

- 12 jam paska tumpahan

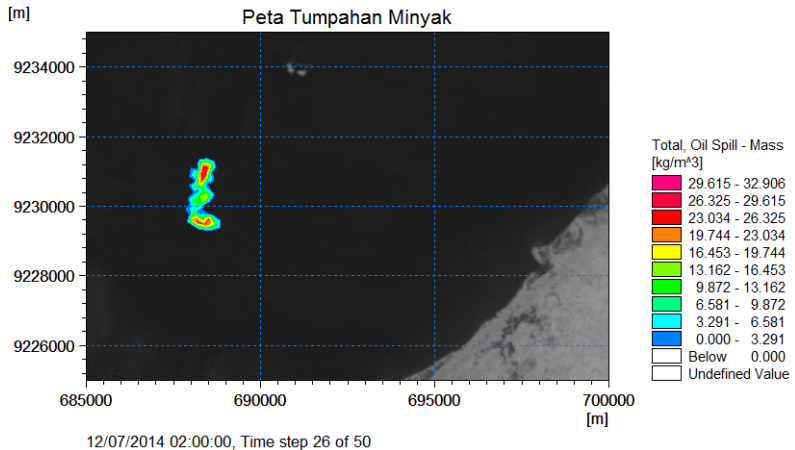
Kondisi 12 jam pasca tumpahan yaitu pada tanggal 11 Juli 2014 jam 14:00, aliran minyak bergerak ke arah utara dan meluas hingga 1.528.177 m², dengan konsentrasi minyak 0 hingga 28,637 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 31,747 m²/s.



Gambar 4.40 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014

- 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 12 Juli 2014 jam 02:00, minyak, tumpahan minyak kembali dan mengarah ke barat daya dengan luas hingga $1.320.039 \text{ m}^2$, dengan konsentrasi minyak 0 hingga $32,906 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $4,818 \text{ m}^2/\text{s}$.

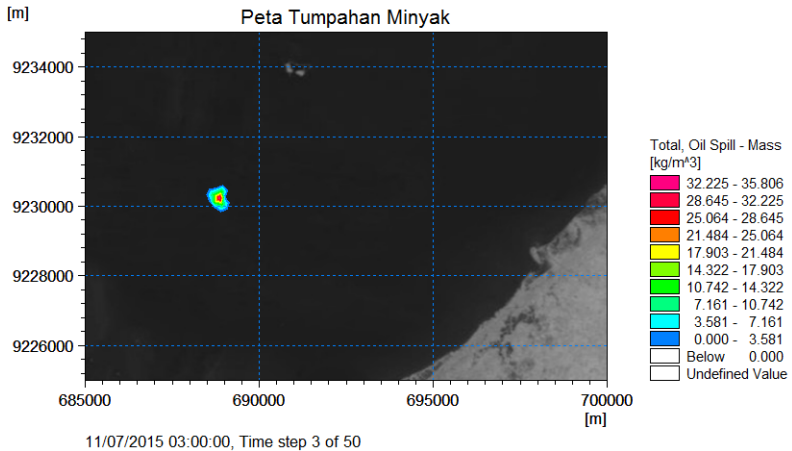


Gambar 4.41 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2014

C. 11 Juli Tahun 2015

▪ 1 jam paska tumpahan

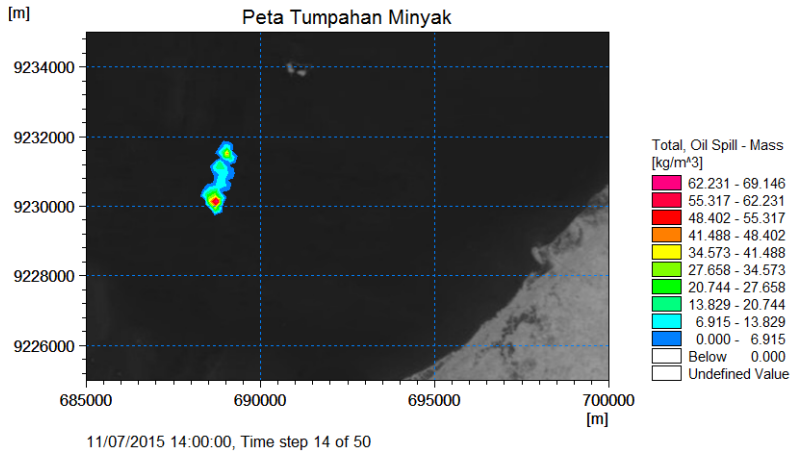
Dari hasil pemodelan tumpahan minyak pada saat musim angin timur, 1 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 11 Juli 2015 jam 03:00, minyak menyebar diatas permukaan laut mengeilingi titik sumber tumpahan dengan luasan 351.367 m^2 dengan konsentrasi 0 hingga $35,806 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $97,602 \text{ m}^2/\text{s}$.



Gambar 4.42 Kondisi Tumpahan Minyak 1 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015

- 12 jam paska tumpahan

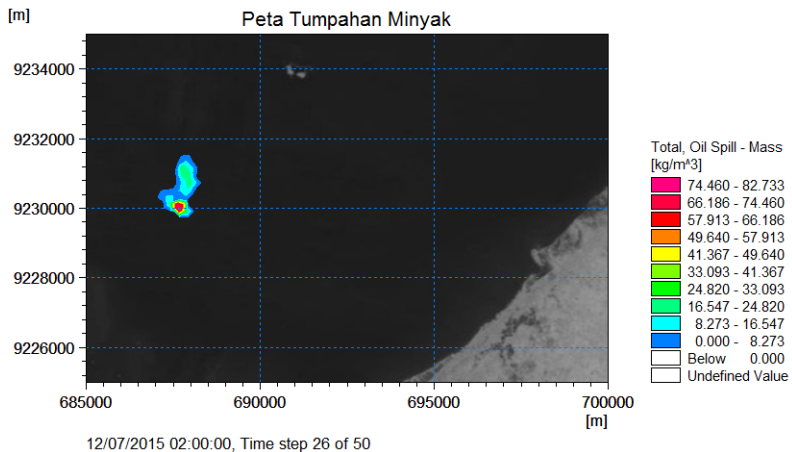
Kondisi 12 paska tumpahan yaitu pada tanggal 11 Juli 2015 jam 14:00, minyak melebar ke arah utara meluas hingga $1.130.654 \text{ m}^2$, dengan konsentrasi tumpahan 0 hingga $69,146 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar $19,679 \text{ m}^2/\text{s}$.



Gambar 4.43 Kondisi Tumpahan Minyak 12 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015

■ 24 jam paska tumpahan

Kondisi 24 jam paska tumpahan minyak yaitu pada tanggal 12 Juli 2015 jam 02:00, tumpahan bergerak ke barat, dengan luas tumpahan sebesar 1.129.988 m², dengan konsentrasi tumpahan 0 hingga 82,733 kg/m³. Kecepatan penyebaran tumpahan minyak sebesar 0,015 m²/s.



Gambar 4.44 Kondisi Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Minyak 11 Juli 2015

Dari hasil pemodelan tumpahan minyak arah dan pergerakan tumpahan minyak sangat bergantung kepada arah dan kecepatan arus laut, semakin tinggi kecepatan arus akan menyebabkan perpindahan dan penyebaran tumpahan minyak semakin cepat, untuk arah penyebaran tumpahan, arah arus yang saling melawan akan mengakibatkan tumpahan minyak tertahan pada area tertentu.

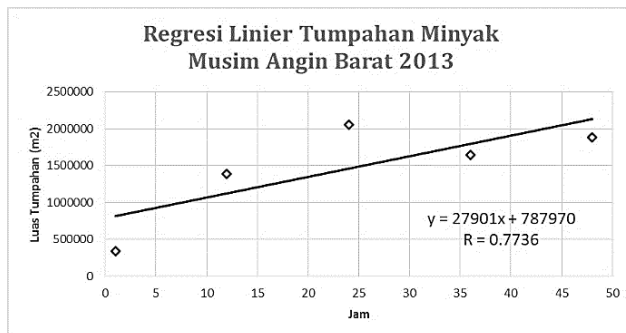
4.11 Regresi Linier Tumpahan Minyak

Dari hasil pemodelan didapatkan waktu dan luas paska terjadinya tumpahan, dari 1 jam paska tumpahan hingga 48 jam paska tumpahan. Nilai luas tumpahan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 10 Nilai Luas Tumpahan Hasil Pemodelan

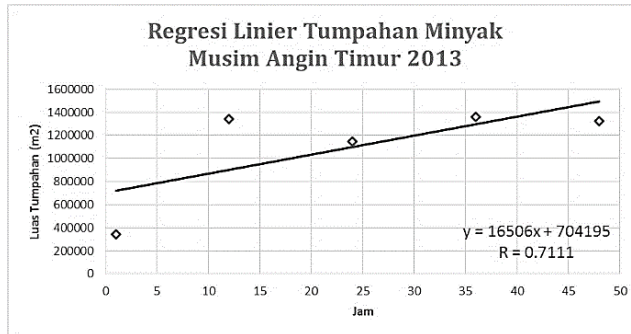
Tahun	Jam	Luas Tumpahan (m ²)	
		Musim Angin Barat	Musim Angin Timur
2013	1	346.419	344.399
	12	1.385.439	1.342.856
	24	2.054.548	1.145.457
	36	1.649.199	1.360.210
	48	1.880.254	1.325.232
2014	1	211.535	270.991
	12	412.266	1.528.177
	24	458.833	1.320.039
	36	507.238	1.619.234
	48	529.749	1.541.766
2015	1	388.342	351.367
	12	1.028.438	1.130.654
	24	961.997	1.129.988
	36	1.406.818	1.277.846
	48	143.6016	1.281.425

Untuk regresi linier tumpahan tiap tahunnya diperoleh grafik dan nilai sebagai berikut:



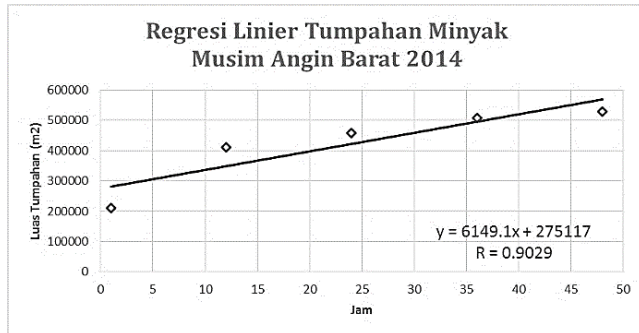
Gambar 4. 45 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2013

Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin barat 2013, didapatkan fungsi luas $Y = 27901(x) + 787970$ dengan nilai Koeifisien Korelasi (r) = 0,7736 dimana nilai tersebut menggambarkan hubungan yang tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.



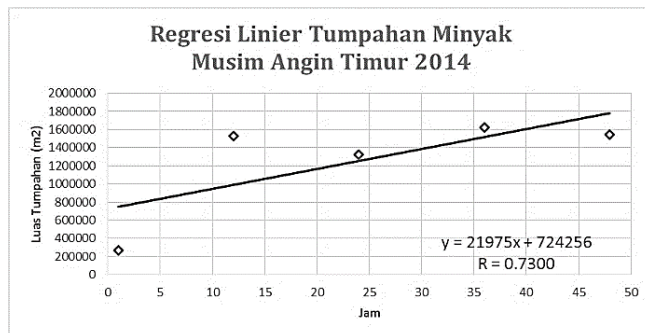
Gambar 4. 46 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2013

Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin timur 2013, didapatkan fungsi luas $Y = 16506(x) + 704195$ dengan nilai Koeifisien Korelasi (r) = 0,7111 dimana nilai tersebut menggambarkan hubungan yang tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.



Gambar 4. 47 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2014

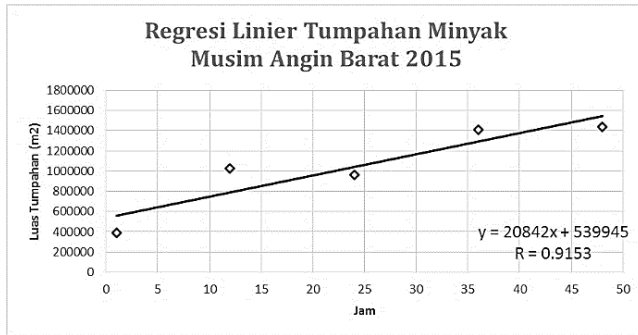
Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin barat 2014, didapatkan fungsi luas $Y = 6149.1(x) + 275117$ dengan nilai Koefisien Korelasi (r) = 0,9029 dimana nilai tersebut menggambarkan hubungan yang sangat tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.



Gambar 4. 48 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2014

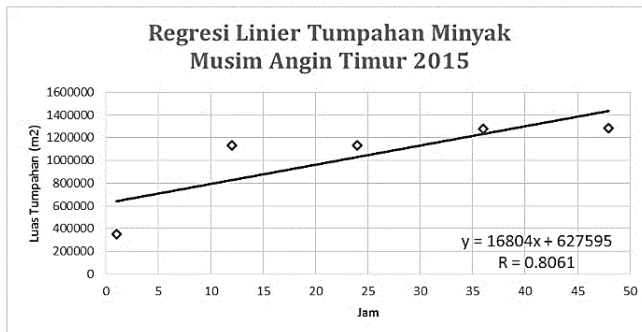
Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin timur 2014, didapatkan fungsi luas $Y = 21975(x) + 724256$ dengan nilai Koefisien Korelasi (r) = 0,7300 dimana nilai tersebut

menggambarkan hubungan yang tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.



Gambar 4. 49 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Barat 2015

Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin barat 2015, didapatkan fungsi luas $Y = 20842 (x) + 539945$ dengan nilai Koeifisien Korelasi (r) = 0,9153 dimana nilai tersebut menggambarkan hubungan yang sangat tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.



Gambar 4. 50 Regresi Linier Tumpahan Minyak Musim Angin Timur 2015

Dari hasil perhitungan regresi linier pada musim angin timur 2015, didapatkan fungsi luas $Y = 16804(x) + 627595$ dengan nilai Koefisien Korelasi ($r = 0,8061$) dimana nilai tersebut menggambarkan hubungan yang tinggi antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang terjadi.

Dari grafik dan hasil regresi linier keseluruhan model, Untuk fungsi luas $Y = a(x) + b$; x merupakan bilangan waktu (jam). Hubungan antara bertambahnya waktu dengan bertambahnya luas tumpahan yang paling berkorelasi terdapat pada model musim angin barat tahun 2015 dengan koefisien korelasi sebesar 0,9153 sedangkan yang paling rendah terdapat pada model musim angin timur tahun 2013 sebesar 0,7111.

4.12 Perencanaan Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak

Perencanaan sangatlah penting dalam langkah penanggulangan bencana, dimana perencanaan ini bertujuan untuk efektifitas dan efisiensi baik waktu, tenaga maupun biaya yang digunakan dalam penanggulangan bencana, sehingga bencana yang terjadi dapat ditanggulangi secara maksimal dengan kerugian seminimal mungkin.

Dalam kejadian bencana tumpahan minyak, prediksi pergerakan tumpahan dengan akurasi yang tinggi dapat sangat membantu dalam penanggulangan bencana, prediksi arah dan pergerakan tumpahan minyak tersebut dapat menjadi dasar perencanaan, misalnya dalam penentuan metode penanggulangan yang akan digunakan, estimasi biaya yang dibutuhkan. Semakin menyebar tumpahan minyak akan memerlukan usaha dan biaya yang lebih banyak pula, dengan mengetahui arah pergerakan tumpahan minyak, dapat dilakukan penanganan lebih dini agar tumpahan tidak mejangkau area yang rentan terhadap tumpahan minyak.

Tanggung jawab institusi dalam penanggulangan bencana tumpahan minyak di Indonesia di serahkan kepada Kementerian Lingkungan Hidup, selain dari pihak pelaksana kegiatan eksplorasi, eksploitasi dan distribusi minyak bumi tersebut.

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, perlu diwaspadai kemungkinan akan terjadinya pergerakan tumpahan minyak yang mengarah ke pulau terdekat dari sumber tumpahan, yaitu Pulau Karang Jamuang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir mengenai Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak Akibat Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya) ini, dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut:

- a. Hasil pemodelan pada musim angin barat, kecepatan arus area model pada tahun 2013 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,148 m/s pada tanggal 11 Januari jam 20:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,090 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2014 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,090 m/s pada tanggal 13 Januari jam 01:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,0444 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2015 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,075 m/s pada tanggal 11 Januari jam 23:00 dengan rata-rata kecepatan arus 0,050 m/s. Arah arus pada musim angin barat sebagian besar mengarah ke timur ke utara Pulau Madura.
- b. Hasil pemodelan pada musim angin timur, kecepatan arus area model pada tahun 2013 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,103 m/s pada tanggal 11 Juli jam 03:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,055 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2014 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,136 m/s pada tanggal 12 Juli jam 08:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,067 m/s. Kecepatan arus area model pada tahun 2015 memiliki kecepatan tertinggi sebesar 0,098 m/s pada tanggal 12 Juli jam 12:00 dengan rata-rata kecepatan arus sebesar 0,066 m/s. Arah arus pada musim angin timur sebagian besar mengarah ke utara Pulau Jawa.
- c. Luas tumpahan minyak setelah 24 jam pasca tumpahan pada musim angin barat, paling luas terjadi pada tahun 2013

dengan luas sebesar $2.054.548 \text{ m}^2$ dan kecepatan penyebaran tumpahan minyak saat itu sebesar $15,489 \text{ m}^2/\text{s}$. Konsentrasi tumpahan pada saat itu dari 0 hingga $78,521 \text{ kg/m}^3$. Tumpahan minyak bergerak ke arah timur laut dari sumber tumpahan.

- d. Luas tumpahan minyak setelah 24 jam pasca tumpahan pada musim angin timur, paling luas terjadi pada tahun 2014 dengan luas sebesar $1.320.039 \text{ m}^2$ dan kecepatan penyebaran tumpahan minyak saat itu sebesar $4,818 \text{ m}^2/\text{s}$. Konsentrasi tumpahan pada saat itu dari 0 hingga $32,906 \text{ kg/m}^3$. Tumpahan minyak bergerak ke arah barat daya dari sumber tumpahan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir mengenai Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak Akibat Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya), maka penulis memberikan saran sebagai berikut:

- a. Untuk melakukan pemodelan, sebaiknya data yang digunakan dapat mencakup area model baik untuk luasan maupun waktu pemodelan, semakin lengkap data yang digunakan maka hasil dari pemodelan tersebut akan semakin akurat.
- b. Dalam pembuatan model simulasi, untuk mendapatkan hasil pemodelan yang akurat, sebaiknya *mesh* yang dibuat memiliki resolusi yang besar.
- c. Dalam pembuatan model, selain *mesh*, langkah waktu yang diperbanyak dengan jarak antar *step* diperkecil hingga nilai maksimal juga akan mempengaruhi akurasi dari model.
- d. Akan lebih lengkap bila dilakukan proses validasi terhadap hasil simulasi pergerakan tumpahan minyak dengan kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga dapat diketahui keakuratan model yang dibuat.

DAFTAR.PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2008). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 4 Tahun 2008 Tentang Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Bowditch, N. (2002). *The American Practical Navigator*. Maryland: National Imagery And Mapping Agency.
- Buku Ajar Mata Kuliah Oseanografi Fisika*. (t.thn.). Semarang: Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). *Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature*. USA: Geosci.
- Great Australian Bight. (2016). *Fate And Effects Oil SPill Modelling Assumptons, Parameters And Result*. -: Great Australian Bight.
- Gregory, P. T. (2004). *Port Engineering*. USA: John Wiley & Sons.
- Hutabarat, S., & Evans, S. M. (1984). *Pengantar Oseanografo*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Ivanov, A. Y., & Zatyagalova, V. V. (2008). A GIS Approach To Mapping Oil SPill In The Marine Environment. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, Issue 21, 6297-6316.

- Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT). (2009). *Laporan analisis Trend Kecelakaan Laut 2003 - 2008*. Jakarta: Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT).
- Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT). (2011). *Analisis Data Kecelakaan dan Investigasi Transportasi Laut Tahun 2007 - 2011*. -: Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT).
- Kustituant, B., & Badrudin, R. (1994). *Statistika 1 (Deskriptif)*. Jakarta: Gunadarma.
- Makhrani. (2012). *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Makasar: Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin.
- MIKE by DHI. (2014). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation*. Denmark: DHI.
- National Ocean Service. (2016, September 02). *National Ocean Service NOAA*. Diambil kembali dari National Ocean Service NOAA:
http://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/04currents1.html
- Office of Coast Survey NOAA. (-, - -). *History of Hydrographic Survey*. Diambil kembali dari Office of Coast Survey NOAA:
http://www.nauticalcharts.noaa.gov/mcd/learnnc_surveytechniques.html
- Office of Coast Survey NOAA. (1986, - -). *National Ocean Service (NOS) Office of Coast Survey*. Diambil kembali dari Office of Coast Survey NOAA:

https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/nosfish200203_100dpi.jpg

- Office of Ocean Exploration and Research NOAA. (2001, - -). *Ocean Explore*. Diambil kembali dari Ocean Explore: <http://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/deepeat01/background/fire/media/storegga.html>
- Office of Response and Restoration NOAA. (2016, Agustus 31). *Deepwater Horizon Oil Spill*. Diambil kembali dari Office of Response and Restoration NOAA: <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/significant-incidents/deepwater-horizon-oil-spill>
- Office of Response and Restoration NOAA. (2016, Agustus -). *Spill Containment Methods*. Diambil kembali dari Office of Response and Restoration NOAA: <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/spill-containment-methods.html>
- Parker, B. B. (2007). *Tide Analysis and Prediction*. Maryland: NOAA.
- Poerbondono , N., & Djunasjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- PT. Pelindo Marine Service. (2014, May 21). *Overkapasitas, Rawan Kecelakaan Laut*. Diambil kembali dari PT. Pelindo Marine Service: <http://www.pelindomarine.com/information/news/265.html>
- PT. PERTAMINA (PERSERO). (2007). *Material Safety Data Sheet (MSDS) Solar - Diesel Fuel*. Jakarta: PT. PERTAMINA (PERSERO).

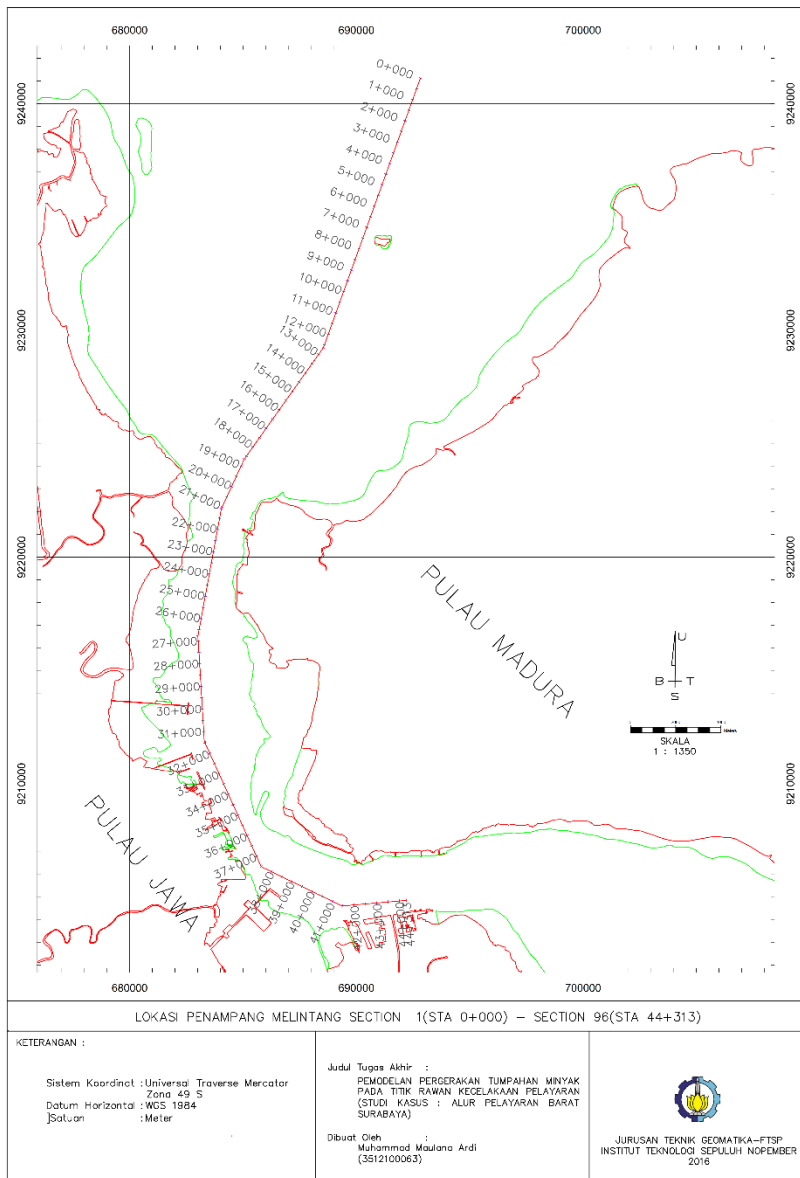
- Rahadian , A. C. (2014). *Pemodelan Aliran Tumpahan Minyak Dalam Manajemen Perencanaan Penanggulangan Bencana Tumpahan Minyak*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Risdiyanta. (2015). Mengenal Kilang Pengolahan Minyak Bumi (Refinery) Di Indonesia. *Forum Teknologi Vol. 05 No. 4 Tahun 2015*, 46.
- SA, K. (2006). *Proses Pengolahan Minyak dan Gas Bumi*. Cepu.
- Sarwono, J. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Siringotingo, H., & Nursamsi, R. A. (2006). *Pengantar Statistika*. Jakarta: Gunadarma.
- Sulistyono. (2013). Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut pada Kegiatan Industri Migas dan Metode Penanggulangannya. *Forum Teknologi Vol. 03 No. 1 Tahun 2013*, 49-57.
- The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (-). *Technical Information Paper*. London: The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF).
- The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF). (2014-2015). *Handbook*. London: The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF).
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi*. Bandung: ITB.
- Triatmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

- Tryono, F. Y. (2016). Peranan Geologi Dalam Sistem Hidrokarbon Serta Potensi dan Tantangan Eksplorasi MIGAS di Indonesia. *Forum Teknologi Vol. 06 No. 2 2016*, 70.
- Wyrski, K. (1961). *NAGA REPORT Volume 2 Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961*. California: South Viet Nam, Thailand and the United States of America Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

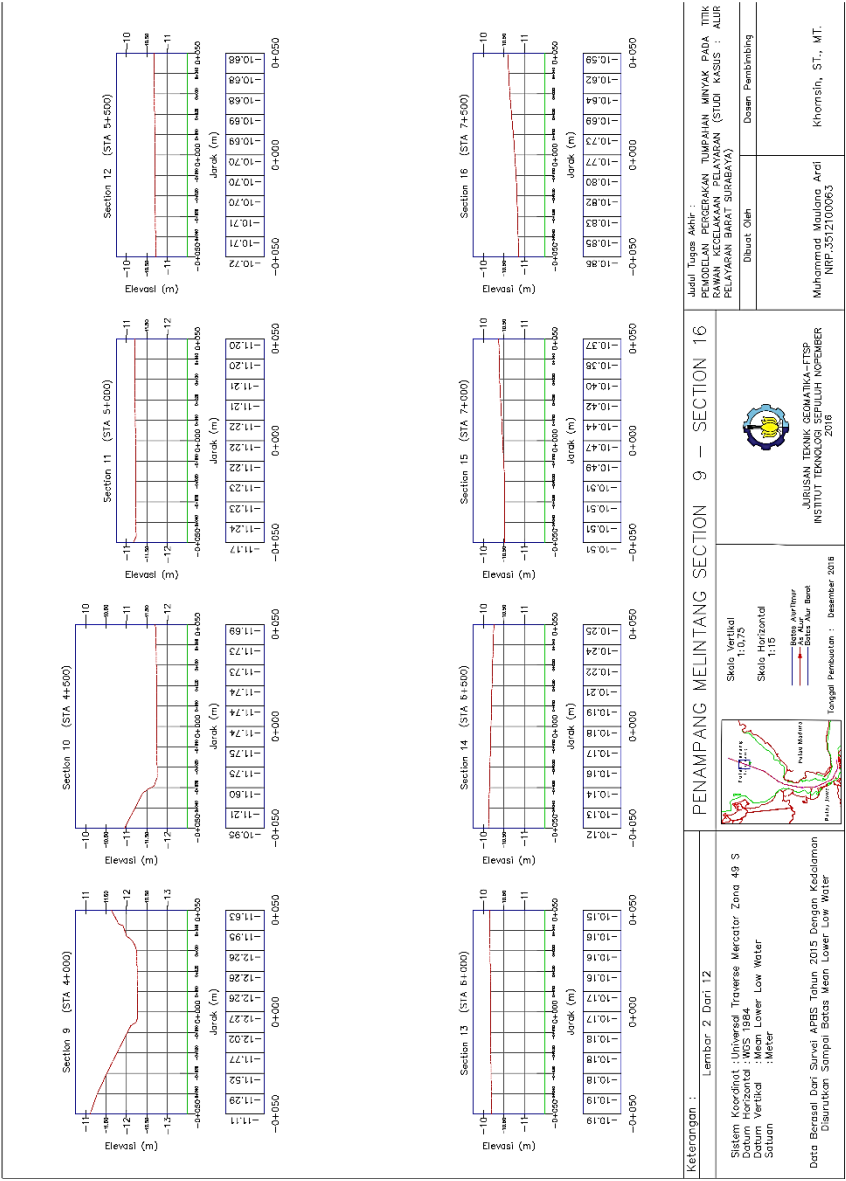
LAMPIRAN 1.
Cross Section Alur Pelayaran Barat Surabaya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

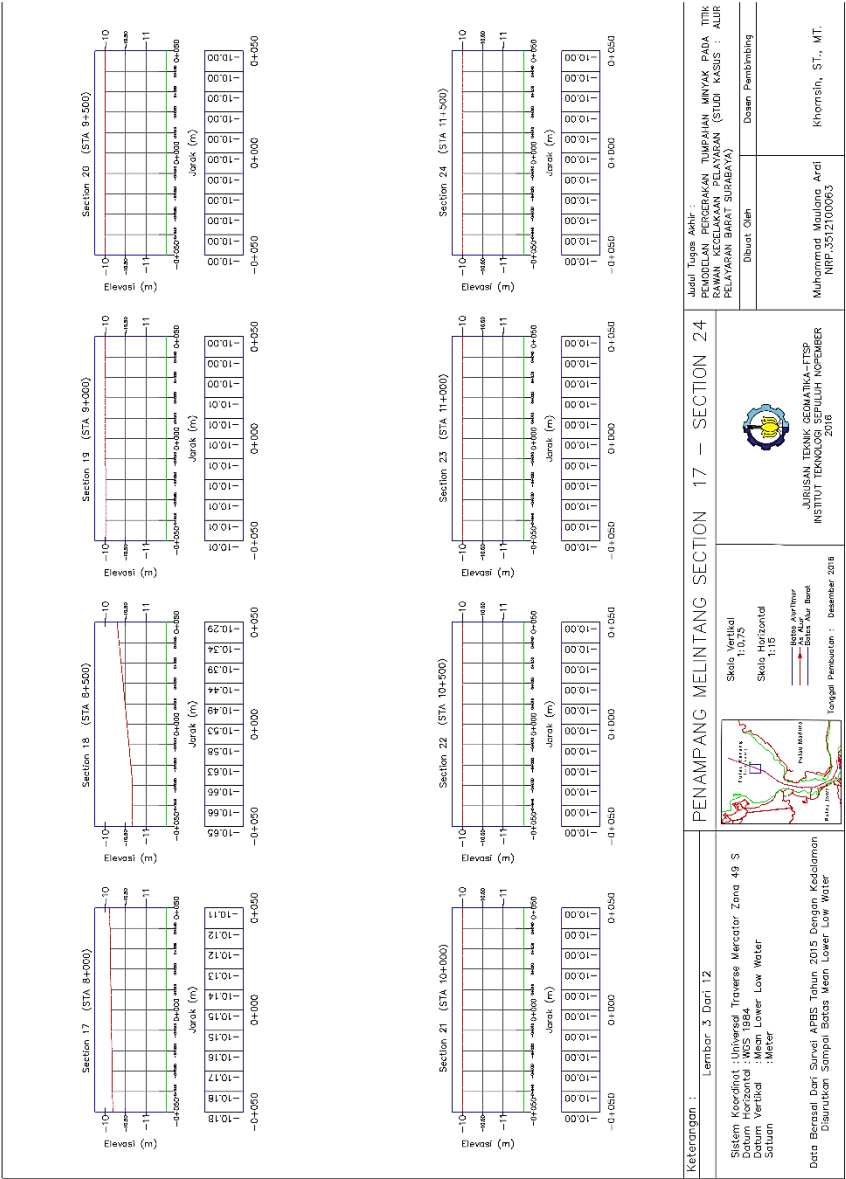


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

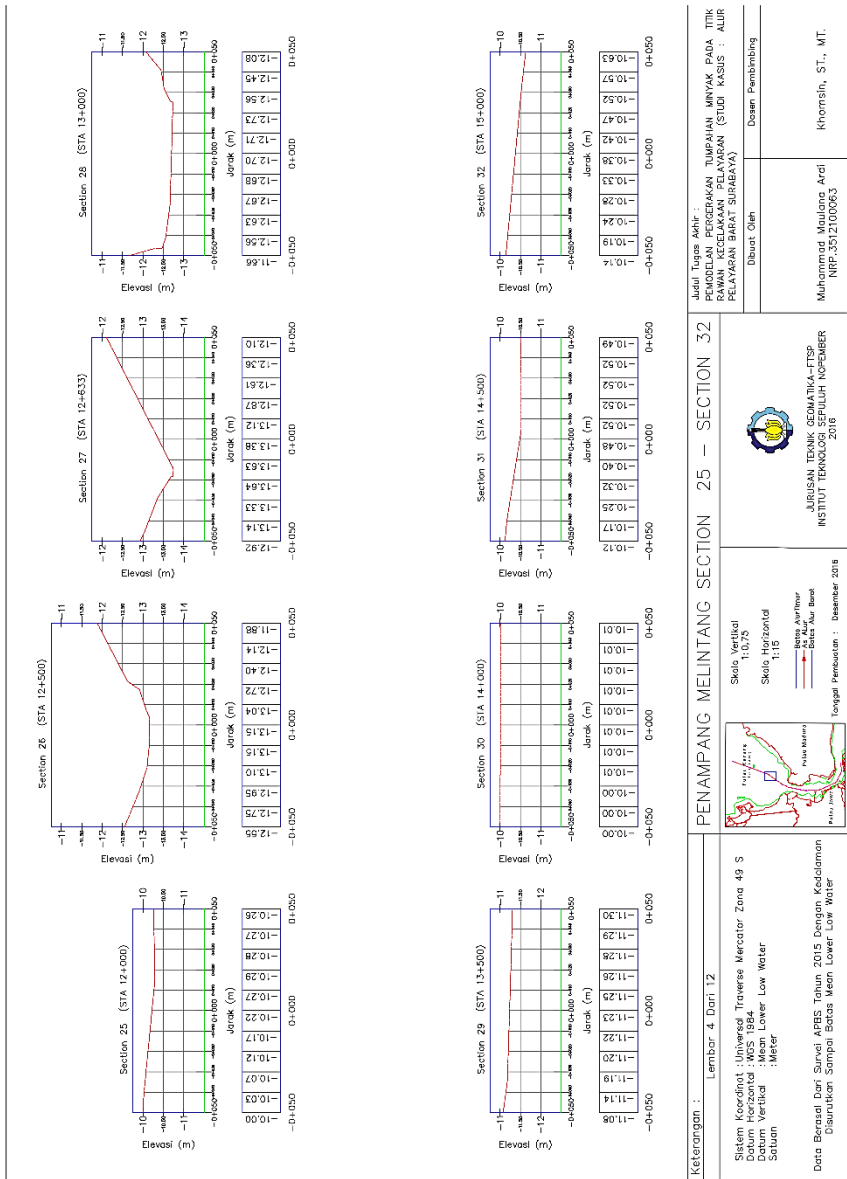
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



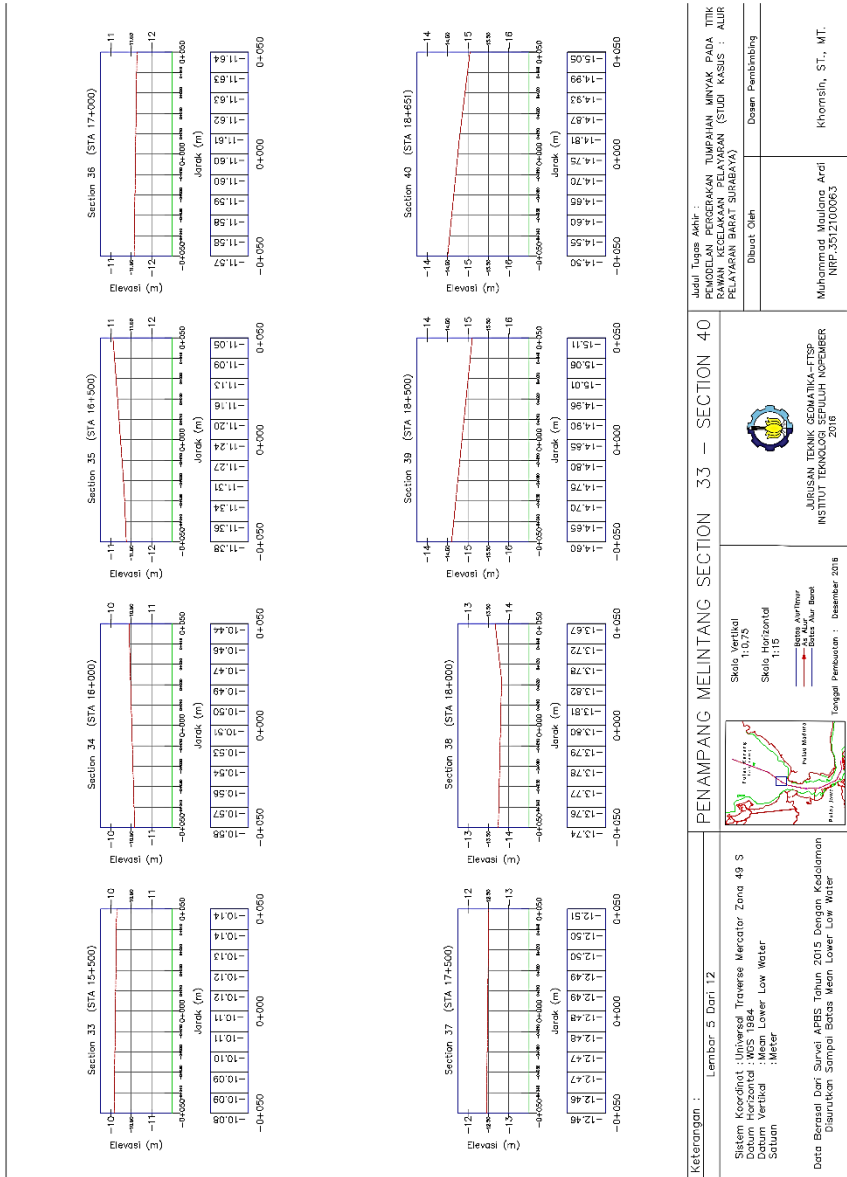
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

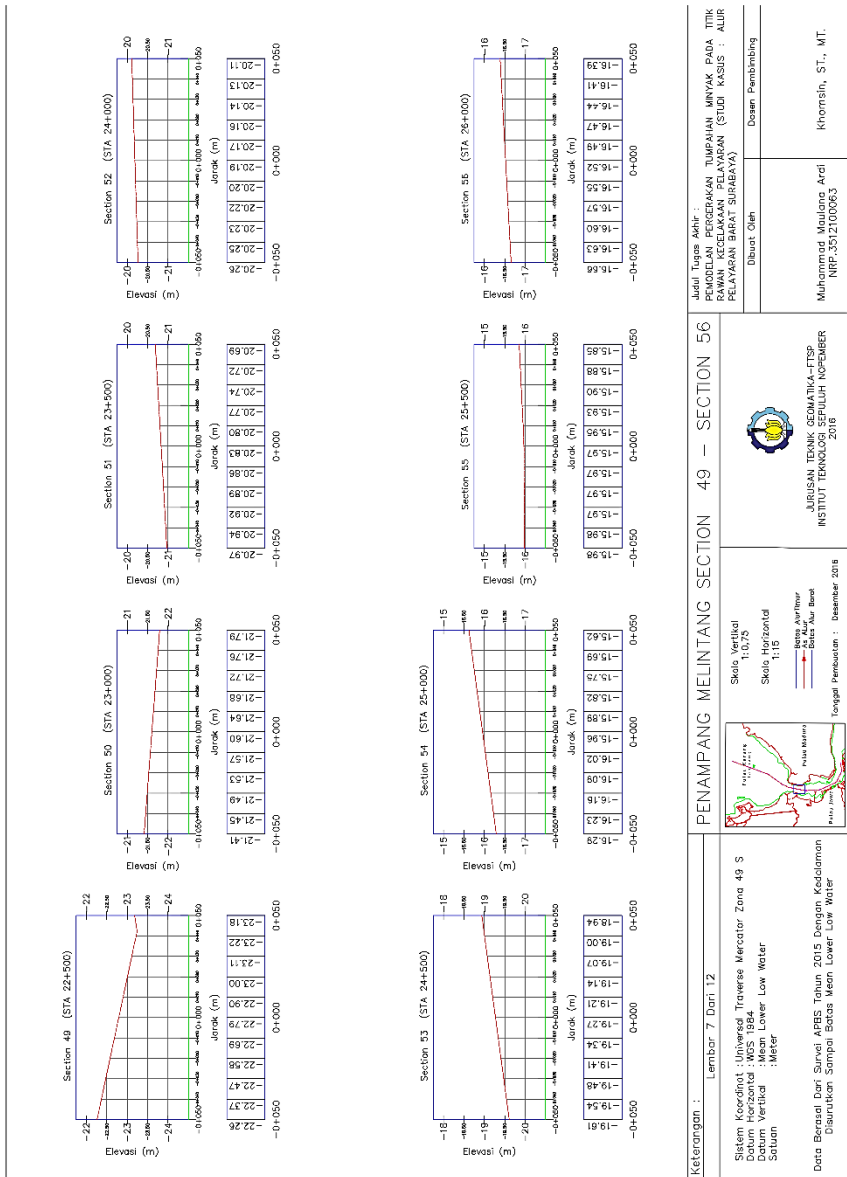


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

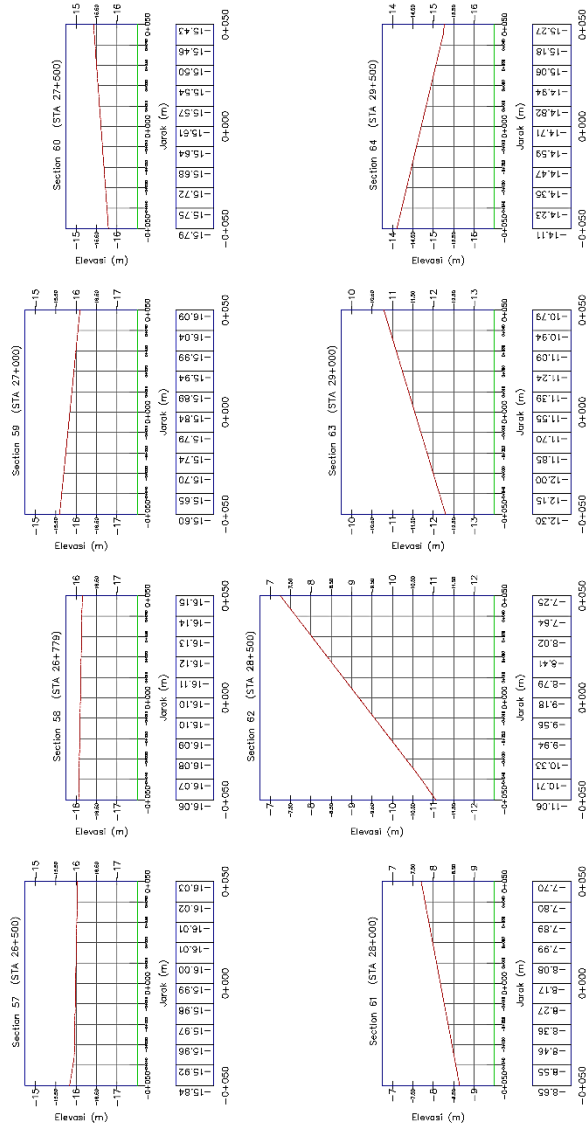


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

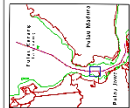
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PENAMPANG MELINTANG SECTION 57 – SECTION 64

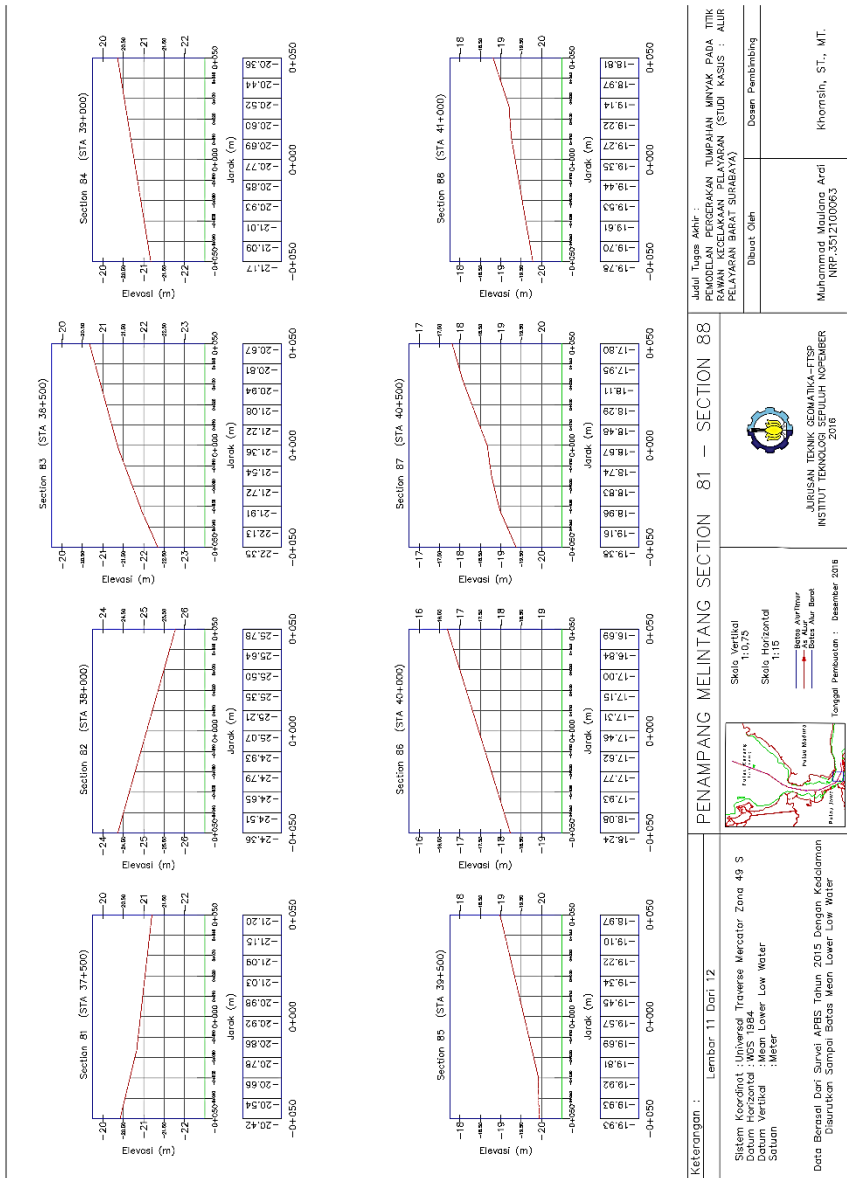


<p>Judul Tesis Akhir : PENGENDALIAN PEGERAKAN TUMPAHAN MINYAK PADA TITIK PERANTARAN KECELAKAAN PELAYANAN (STUDI KASUS : ALUR PELAYANAN BARAT SURABAYA)</p>	<p>Dosen Pembimbing</p>
<p>Dibuat Oleh</p>	<p>Muhammad Maulana Ardi NRP.3512100063</p>
	<p>Khoirudin, ST., MT.</p>

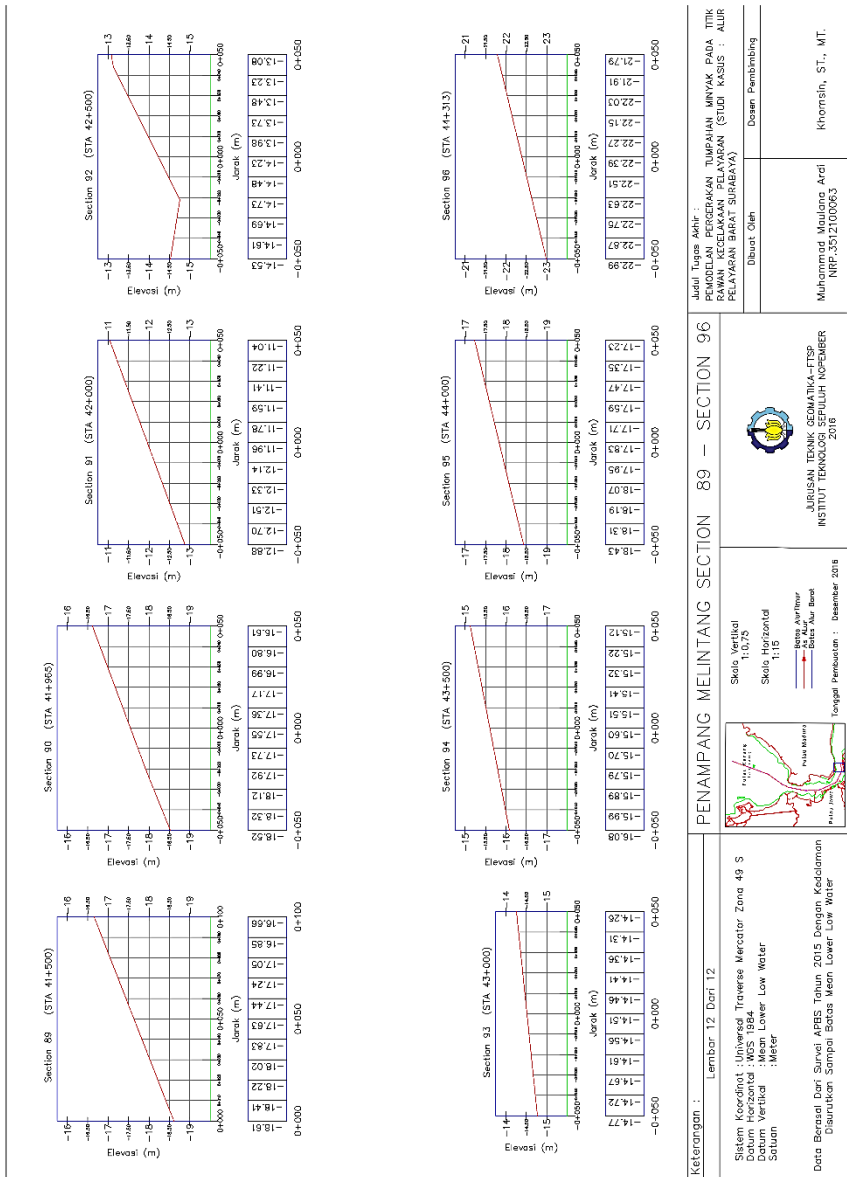
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



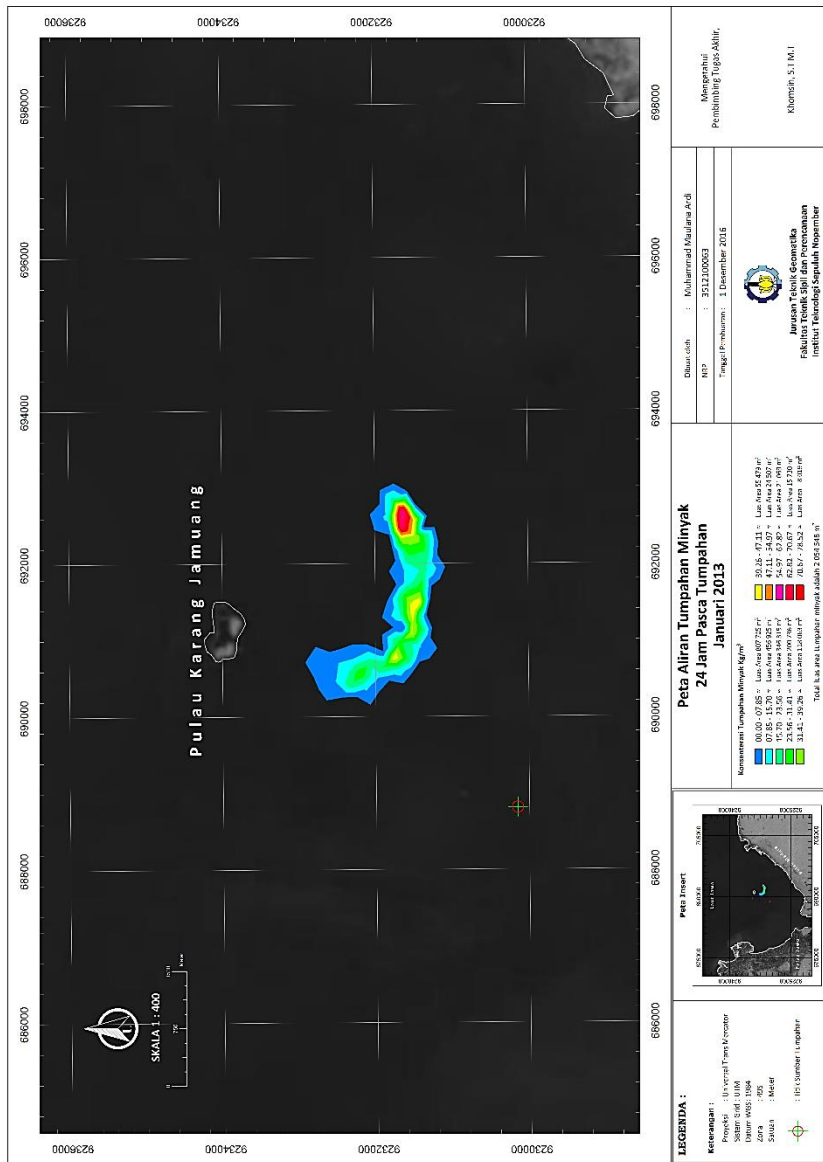
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan
Januari 2013

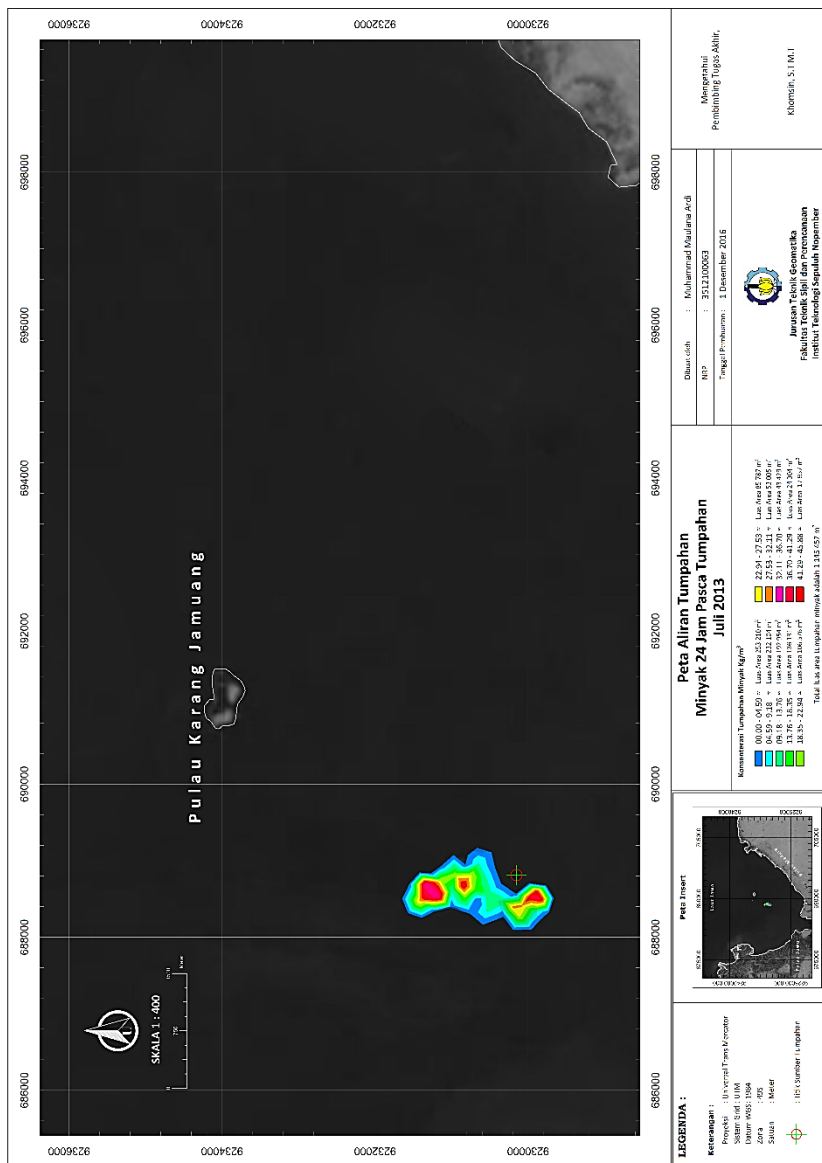
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 3.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Juli
2013

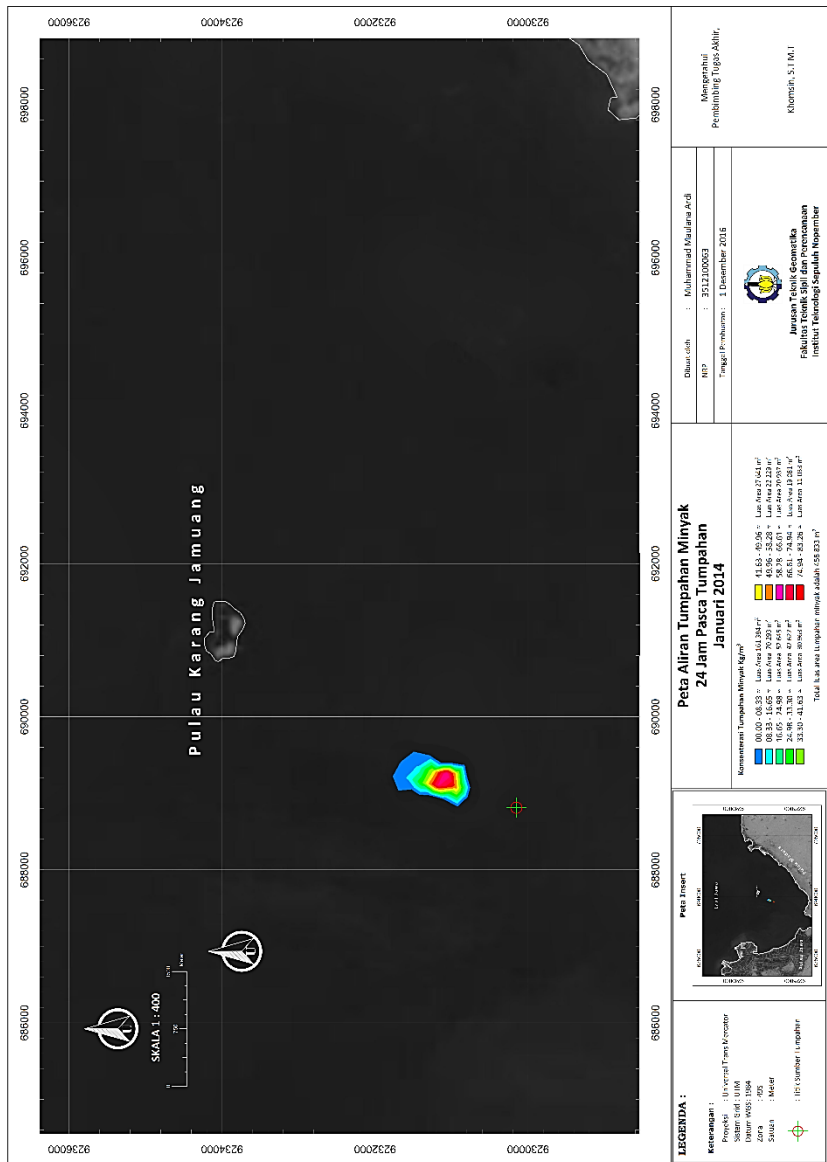
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 4.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan
Januari 2014

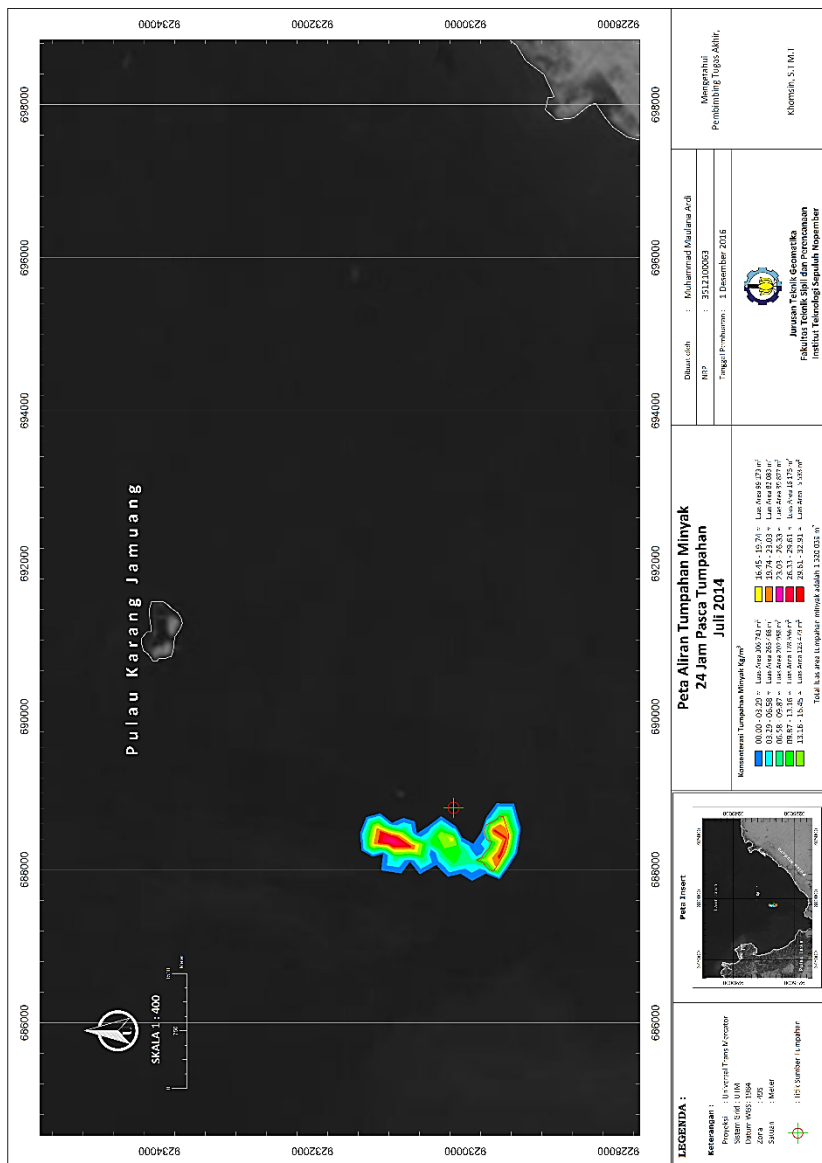
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 5.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Juli
2014

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

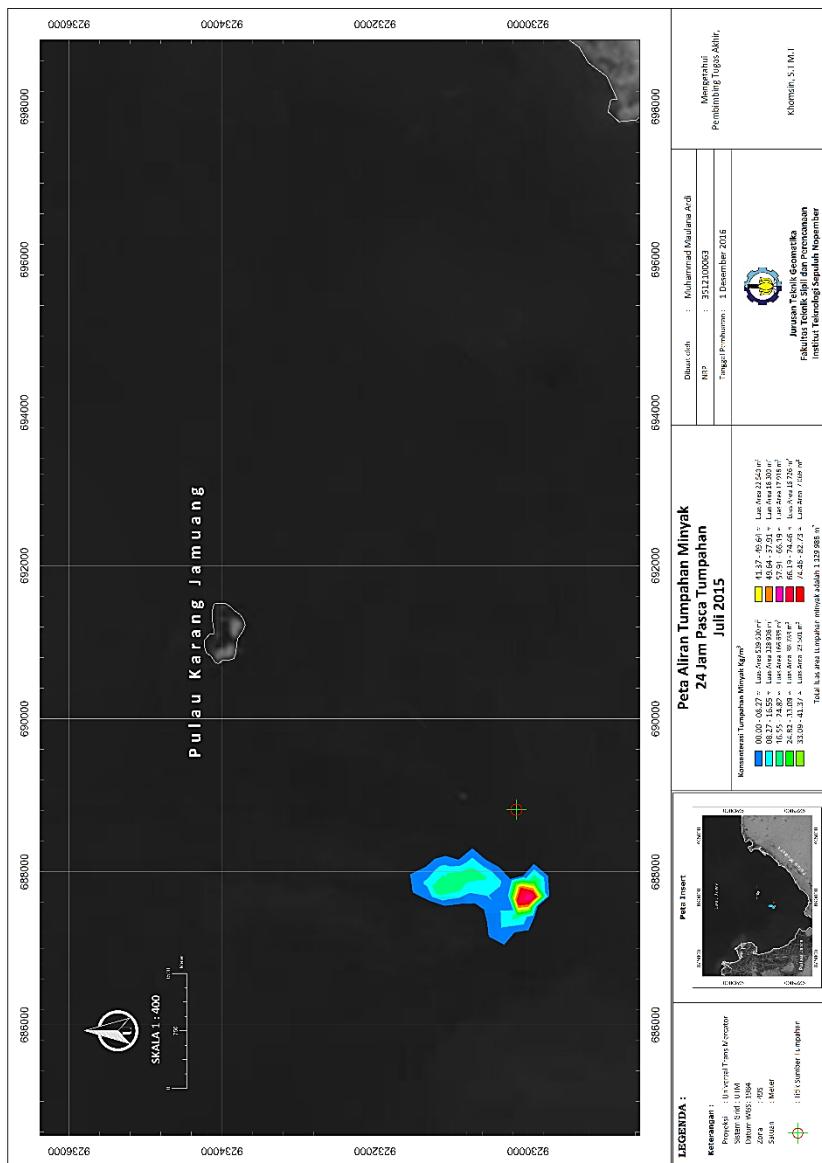
LAMPIRAN 6.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan
Januari 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 7.
Peta Aliran Tumpahan Minyak 24 Jam Paska Tumpahan Juli
2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Muhammad Maulana Ardi, dilahirkan di Sidoarjo, 30 Agustus 1993. Merupakan anak ke empat dari empat bersaudara dari pasangan Faried Sanusi dan Indan Zuardini. Penulis mengenyam pendidikan formal SD di SD Muhammadiyah 15 Surabaya dan satu tahun pada kelas 5 SD di SD Darul Hikam Bandung. Setelah menyelesaikan pendidikan SD lalu melanjutkan pendidikan SMP di SMP Khadijah 1 Surabaya, setelah itu melanjutkan pendidikan SMA di SMA Negeri 9 Surabaya. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA, melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa ITS pada tahun 2012 dengan NRP 3512100 063. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti acara-acara yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) ITS dan Jurusan Teknik Geomatika ITS baik sebagai panitia maupun sebagai peserta. Penulis telah melakukan kerja praktik di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian (BPPTKG) dan beberapa kali mengikuti kegiatan pengukuran diluar kegiatan akademik. Penulis memilih bidang keahlian *Geomarine* dengan spesifikasi bidang Hidro-Oseanografi dan mengambil judul tugas akhir Pemodelan Pergerakan Tumpahan Minyak pada Titik Rawan Kecelakaan Pelayaran (Studi Kasus: Alur Pelayaran Barat Surabaya).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”